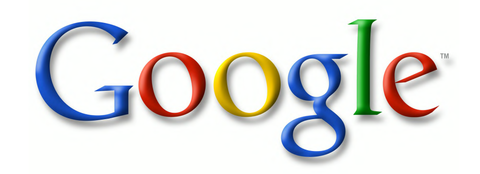
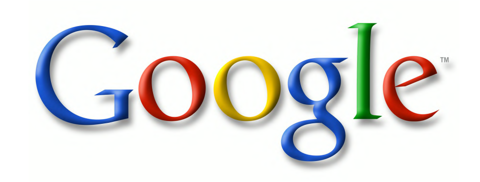
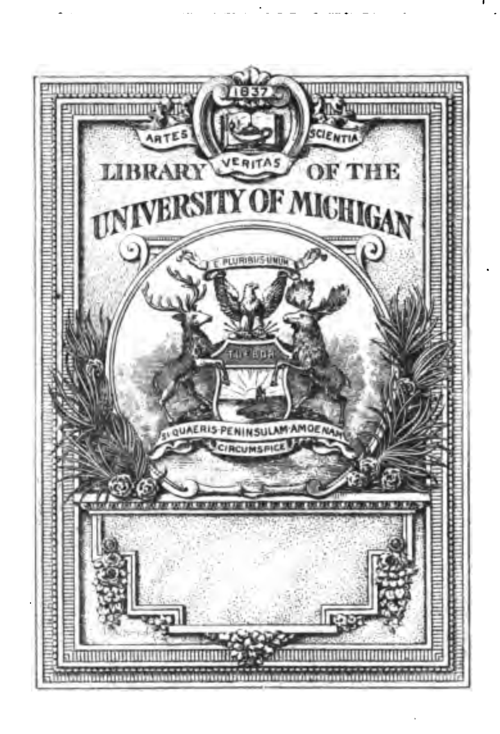





1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE





ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

TROISIÈME SÉRIE.

1846.

A LEIPZICK,
CHEZ MICHELSEN.

IMPRIMERIE DE BACHELIER,
rue du Jardinet, n° 12.

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE,

PAR

MM. GAY-LUSSAC, ARAGO, CHEVREUL, DUMAS,
PELOUZE, BOUSSINGAULT
ET REGNAULT.

Troisième Série.

TOME DIX - SEPTIÈME.

PARIS,
VICTOR MASSON,
Libraire des Sociétés savantes près le Ministère de l'Instruction publique,
PLACE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE, N° 1.

IMPRIMERIE DE BACHELIER,
RUE DU JARDINET, N° 12.

1846.

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

RECHERCHES

SUR

LA COMPOSITION DES GAZ

Que l'eau de mer tient en dissolution dans les différents moments de la journée;

PAR M. B. LEWY.

(Présenté à l'Académie des Sciences le 1er décembre 1845.)

Le travail que j'ai l'honneur de soumettre au jugement de l'Académie offre les résultats d'une série de recherches sur la composition des gaz dissous dans l'eau de la mer. M. Dumas, qui a bien voulu m'encourager à entreprendre ces recherches, a consenti à mettre à ma disposition les instruments nécessaires pour effectuer les expériences sur les lieux mêmes. Je saisis cette nouvelle occasion d'exprimer à ce maître bienveillant toute ma reconnaissance.

L'Académie se rappelle les recherches de M. Morren sur le même sujet, et les résultats intéressants obtenus par ce

savant professeur. M. Morren a constaté, en effet, des différences dans la composition des gaz dissous dans l'eau de la mer, suivant l'époque de la journée et les circonstances météorologiques. Ainsi, il a reconnu que les gaz étaient beaucoup plus riches en oxygène le jour, et sous l'influence de l'insolation, qu'ils ne le sont la nuit, et lorsque le ciel est couvert. Les différences signalées par M. Morren sont très-considérables; sur $4^{lit},5$ d'eau de mer, ce savant a trouvé des quantités d'oxygène variant entre $29^{cc},7$ et $53^{cc},6$. Pour l'eau des flaques, cette quantité est comprise entre des limites encore beaucoup plus éloignées; elles varient de $20^{cc},78$ à $76^{cc},04$.

Les expériences dont je viens de parler ont été exécutées aux mois de mars, avril et mai. Il m'a paru intéressant de reprendre ces recherches, et de les étendre à l'examen du gaz recueilli pendant les chaleurs de l'été. Afin de pouvoir comparer mes expériences avec celles de M. Morren, j'ai cru devoir adopter le procédé suivi par ce savant.

Analyses du gaz extrait de l'eau de la mer.

Les analyses ont été faites à Langrune (département du Calvados), et l'eau a été puisée sur les rochers qui bordent le rivage.

Les circonstances ne m'ont pas permis de recueillir l'eau à une très-grande distance des côtes; le plus souvent j'ai donc été obligé de la puiser sur les côtes même, en ayant soin d'ailleurs de choisir le moment de la marée montante. Il était donc permis de supposer que l'eau possédait une homogénéité de composition parfaite. Du reste, les expériences que j'ai rappelées avaient déjà prouvé que l'eau prise à 4 ou 5 lieues au large, et l'eau prise sur les côtes, étaient identiques sous le rapport de la composition du gaz dissous. C'est d'ailleurs ce que j'ai confirmé moi-même par quelqués expériences préliminaires qui ont éclairé ma conviction.

L'eau a été puisée le matin et le soir, aux mêmes heures, et les analyses ont été faites immédiatement. J'ai toujours opéré sur la même quantité d'eau. Le ballon dont je me suis servi contenait $4^{lit},45$ (1). Un bouchon de liége, dont la partie inférieure était évasée en forme de cône, s'ajustait à frottement au col du ballon; ce bouchon était recouvert d'une coiffe en caoutchouc assez épaisse, et fixée par des ligatures serrées. Pendant l'opération, le caoutchouc s'échauffe beaucoup; mais, en l'enveloppant de toutes parts avec un ruban humide et bien serré, on s'oppose à sa destruction, et la même coiffe peut servir pour dix ou douze opérations. Un tube de verre recourbé, de 6 à 7 millimètres de diamètre intérieur, traversait le bouchon et la coiffe en caoutchouc; l'extrémité opposée de ce tube plongeait dans une grande terrine en grès pleine d'eau froide et se rendait sous une cloche pleine d'eau. L'ébullition de l'eau était maintenue aussi longtemps qu'il se dégageait du gaz; ordinairement, tout dégagement avait cessé au bout de quinze minutes. On retirait alors le feu, l'absorption avait lieu, et il ne restait plus dans le ballon que $0^{cc},25$ ou $0^{cc},50$ de gaz, dégagé par l'eau rentrée.

J'ai observé la précaution indiquée par M. Morren, qui consiste à faire bouillir de l'eau dans le ballon avant de s'en servir, et j'ai toujours laissé l'eau séjourner dans le ballon jusqu'au moment de recommencer une nouvelle expérience. Le gaz était analysé immédiatement après son extraction.

Dans les expériences qui vont suivre, j'ai toujours recueilli les gaz sur de l'eau préalablement bouillie, puis refroidie et agitée quelques jours au contact de l'air. Sans cette précaution, l'eau, soit qu'elle provienne des puits de la

---

(1) Le ballon a été jaugé avec de l'eau à 15 degrés; la capacité ainsi déterminée était de $4^{lit},65$. Par la dilatation, il sort une certaine quantité d'eau, et ce n'est que vers 100 degrés que les gaz commencent à se dégager; ainsi le volume sur lequel on opère devient plus petit. C'est par le calcul que je l'ai ramenée à $4^{lit},45$.

localité ou de la mer, contient, ainsi que je m'en suis assuré, d'assez fortes proportions d'acide carbonique, qui peut s'ajouter au gaz recueilli. J'ai trouvé, dans le gaz extrait de l'eau du puits de Langrune, jusqu'à 87 pour 100 d'acide carbonique.

Après avoir extrait tout le gaz dissous dans l'eau que j'examinais, j'absorbais l'acide carbonique par quelques fragments de potasse, puis je portais le résidu dans l'eudiomètre de Volta, où j'effectuais l'analyse par l'hydrogène, avec toutes les précautions prescrites. Pour m'assurer que l'instrument ne subissait aucun dérangement, j'effectuais de temps en temps, comme vérification, une analyse de l'air atmosphérique. L'eudiomètre que j'employais différait cependant un peu de l'eudiomètre de Volta, en ce que j'y avais fait adapter la soupape de M. Gay-Lussac.

Au lieu de diviser en trois parties le gaz extrait, et de faire l'analyse de chaque partie séparément, conformément à la manière d'opérer de M. Morren, j'ai préféré ne faire qu'une seule analyse sur la masse tout entière, en opérant sans retard. J'ai reconnu, en effet, que la composition du gaz variait au fur et à mesure que le contact avec l'eau se prolongeait.

Voici le tableau des analyses :

Tableau comparatif des analyses sur le gaz extrait de l'eau de la mer.

DATES.	HEURES de la journée.	ÉTAT du ciel.	VENTS.	TEMPÉRATURE de l'air.	TEMPÉRATURE de l'eau.	BAROMÈTRE.	HYDROGÈNE sulfuré contenu dans cette eau (1).		VOLUME du gaz extrait.	COMPOSITION sur le volume total du gaz.			COMPOSITION en centièmes.		
							Pour les 4lit,45 (2).	Par litre.		Acide carbonique.	Oxygène	Azote.	Acide carbonique.	Oxygène	Azote.
1848.	h. m.			o	o	m	cc	cc	cc	cc	cc	cc			
26 août..	5.45 du mat.	Découv.	S. O.	15,7	16,2	0,7651	1,55	0,35	86,4	11,9	25,0	49,5	13,7	33,5	52,8
26 août..	5.30 du soir.	Tr.-beau	O.N.O.	17,8	17,6	0,7668	1,55	0,35	88,5	10,6	26,7	51,2	12,0	34,3	53,7
27 août..	3.30 du mat.	Découv.	N.	15,0	15,5	0,7677	1,17	0,26	88,7	14,8	24,5	49,4	16,6	33,1	50,3
27 août..	3.35 du soir.	Découv.	N.	17,3	17,9	0,7693	1,55	0,35	95,0	14,1	28,6	52,3	14,8	34,1	51,1
1 sept..	6.15 du mat.	Découv.	E.	15,2	15,7	0,7683	1,17	0,26	95,6	15,5	26,2	53,9	16,4	32,8	51,0
1 sept..	6.00 du soir.	Découv.	E.	16,5	16,8	0,7668	1,17	0,26	98,1	13,8	29,1	55,2	14,1	34,5	51,5
12 sept..	5.00 du mat.	Couvert.	N.N.E.	16,7	15,5	0,7628	1,17	0,26	89,9	17,0	23,6	49,3	18,9	32,9	48,2
12 sept..	5.00 du soir.	Tr.-beau	N.	17,8	19,3	0,7628	1,55	0,35	93,0	16,0	25,8	51,2	17,2	33,5	49,3
13 sept..	5.15 du mat.	Nuageux	S. O.	11,8	14,9	0,7628	1,55	0,35	89,9	17,5	23,5	48,9	19,4	32,6	48,1

(1) Les dosages de l'hydrogène sulfuré ont été opérés au moyen du sulfhydromètre de M. Dupasquier.

(2) Les 4lit,45 représentent la quantité d'eau sur laquelle nous avons opéré.

D'après l'inspection du tableau précédent, on voit que les résultats de mes expériences s'accordent bien avec ceux de M. Morren, quant au sens des variations qu'il avait indiquées. Ainsi l'oxygène est toujours en plus forte proportion le jour que la nuit, et les différences pour l'acide carbonique marchent en sens inverse. Quant aux chiffres de mes expériences, ils diffèrent sensiblement de ceux rapportés par M. Morren. Les limites entre lesquelles l'oxygène a varié sont de 32,5 à 34, 4 pour 100, au lieu de 31 à 39 pour 100, comme on le trouve dans le Mémoire de M. Morren. Comme la quantité de gaz extrait d'un même volume d'eau de mer n'est pas toujours la même, et que cette quantité augmente sensiblement le jour, et par le beau temps, on peut dire, avec plus d'exactitude, que $4^{lit},45$ d'eau de mer renferment une quantité d'oxygène qui varie entre $23^{cc},5$ et $29^{cc},1$. D'après M. Morren, ces variations seraient de $29^{cc},7$ à $53^{cc},6$ pour $4^{lit},5$ d'eau de mer. Ces expériences de M. Morren se rapportent, il est vrai, à une autre époque de l'année; néanmoins j'aurais de la peine à croire que cette circonstance puisse exercer une si grande influence (1).

Quant à l'acide carbonique, j'ai trouvé que $4^{lit},45$ d'eau de mer tiennent en dissolution une quantité de ce gaz, qui varie entre $10^{cc},6$ et $17^{cc},5$, ou, en centièmes, de 12,0 à 19,4, suivant qu'il y a ou non insolation. Ces variations sont toujours en sens inverse de celles de l'oxygène; cependant, comme M. Morren l'avait déjà remarqué, les nombres qui représentent ces variations ne sont pas en rapport constant.

---

(1) Je ferai remarquer ici que dans le Mémoire de M. Morren, tel qu'il a été inséré dans les *Annales de Chimie et de Physique*, il s'est glissé plusieurs erreurs de chiffres que son éloignement de Paris ne lui a probablement pas permis de rectifier. Cette circonstance m'interdit pour le moment une discussion comparative de nos expériences; c'est un soin que je laisse à M. Morren.

Pour l'azote, les variations sont dans le même sens que celles de l'oxygène; ainsi j'ai trouvé que $4^{lit},45$ d'eau de mer renferment une quantité d'azote qui varie entre $48^{cc},9$ et $55^{cc},2$, ou, en centièmes, de 48,1 à 53,7; mais ici, comme pour l'acide carbonique, les nombres qui représentent ces variations ne sont pas toujours les mêmes.

Il résulte également, de mes expériences, que l'eau de la mer tient constamment en dissolution une quantité d'hydrogène sulfuré qui varie entre $0^{cc},25$ à $0^{cc},75$ par litre d'eau. C'est un fait intéressant et sur lequel je crois devoir insister. Plusieurs savants, entre autres M. Daniell, ont déjà observé le même fait; mais, à ma connaissance, toutes les analyses rapportées, jusqu'à présent, ont été faites sur de l'eau conservée très-longtemps en bouteilles. Des analyses faites immédiatement offriraient sans doute plus de garanties.

D'où vient cet hydrogène sulfuré, et quelles sont les proportions que ce gaz peut atteindre? C'est ce que nous examinerons tout à l'heure. Avant d'entreprendre cette discussion, je crois d'abord devoir rapporter les expériences que j'ai exécutées sur l'eau des flaques.

Analyses du gaz extrait de l'eau des flaques.

Sur les rochers du Calvados, comme dans d'autres localités, la mer présente des variations de niveau très-considérables. En se retirant, elle laisse sur les rochers des quantités d'eau très-variables, suivant les cavités dont les rochers sont creusés. L'eau, ainsi laissée par la mer, fournit des flaques dans lesquelles on voit le plus souvent se développer une belle végétation d'algues; mais quelquefois cependant on trouve des flaques qui ne présentent aucune végétation ni animaux. La mer, à la marée montante et à la marée descendante, vient, dans l'espace de vingt-quatre heures, renouveler deux fois l'eau contenue dans ces fla-

ques, et offre ainsi une occasion d'expériences très-intéressantes. M. Morren est, je crois, le premier qui ait entrepris des expériences dans cette direction, et l'on se rappelle les résultats remarquables auxquels il est arrivé. M. Morren n'avait exécuté que quatre analyses; j'ai pensé que les chimistes accueilleraient avec quelque intérêt une nouvelle série d'analyses exécutées de la même manière.

Je diviserai ces analyses en quatre séries. Les premières ont été faites sur une flaque qui ne renfermait aucune végétation ni animaux; les secondes ont été faites sur une flaque ne renfermant que des algues vertes; les troisièmes sur une flaque ne renfermant que des algues brunes, et les quatrièmes sur une flaque qui ne renfermait que des moules. Les analyses ont été faites immédiatement après avoir recueilli l'eau; toutes ont été exécutées de la même manière: l'eau était recueillie dans des bouteilles en grès de 10 à 12 litres, et dans les quatre expériences on a recueilli l'eau le matin et le soir.

Voici maintenant le tableau des analyses de la première série:

Tableau des analyses sur le gaz extrait de l'eau des flaques, ne renfermant aucune végétation ni animaux.

DATES.	HEURES de la journée.	ÉTAT du ciel.	VENTS.	TEMPÉRATURE de l'air.	TEMPÉRATURE de l'eau.	BAROMÈTRE.	HYDROGÈNE sulfuré contenu dans cette eau.		VOLUME du gaz extrait.	COMPOSITION sur le volume total du gaz.			COMPOSITION en centièmes.		
							Pour les 4lit,48.	Par litre.		Acide carbonique.	Oxygène	Azote.	Acide carbonique.	Oxygène	Azote.
1848.	h. m.			o	o	m	cc	cc	cc	cc	cc	cc			
13 sept..	3.35 du soir.	Découv.	N. E.	18,1	21,3	0,7606	1,17	0,26	83,0	14,2	22,7	46,7	16,9	32,7	50,4
14 sept..	3 40 du mat.	Couvert.	Calme.	13,5	15,0	0,7577	1,75	0,39	81,2	14,2	21,7	45,3	17,4	32,4	50,2
16 sept..	5.10 du soir.	Couvert.	N. O.	16,8	17,5	0,7573	1,55	0,35	84,5	13,6	23,7	47,2	16,1	33,4	51,5
17 sept..	5.10 du mat.	Couvert.	O.S.O.	16,4	16,0	0,7576	1,55	0,35	82,4	13,6	22,8	46,0	16,4	33,2	50,4
17 sept..	5.15 du soir.	Découv.	S.O.	18,0	18,3	0,7581	1,55	0,35	87,0	13,8	24,5	48,7	15,9	33,5	50,6
19 sept..	5.10 du mat.	Pluie.	O.S.O.	11,0	11,5	0,7615	1,33	0,30	85,2	13,7	23,6	47,9	16,1	33,0	50,9
19 sept..	5.15 du soir.	Tr.-beau	O.	14,9	15,2	0,7647	1,55	0,35	87,6	13,8	24,8	49,0	15,7	33,6	50,7

Les expériences que nous venons de rapporter ont été faites sur des flaques différentes. Ces flaques ne renfermaient aucune végétation ni animaux, au moins à l'œil nu; elles étaient creusées, tantôt sur les rochers calcaires, tantôt sur le sable. Nous voyons, d'après ces expériences, que la composition du gaz extrait de l'eau contenue dans ces flaques reste, pour ainsi dire, constante. La petite différence, si toutefois elle existe, doit être attribuée aux animalcules microscopiques qui, d'après M. Ehrenberg (1), se trouvent toujours contenus dans l'eau de la mer.

Analyses des gaz extraits de l'eau des flaques renfermant des algues vertes.

La flaque sur laquelle j'ai opéré était située entre Saint-Aubin et Bernières; elle était d'une belle largeur, creusée sur le rocher, et la quantité d'eau était à peu près la même dans les trois expériences. Les algues qui se trouvaient dans la flaque étaient les suivantes :

1°. *Ulva linza,* Linn. (*Solenia linza,* Agardh);
2°. *Ulva lactuca,* Linn. (*Ulva latissima,* Agardh).

Analyses des gaz extraits de l'eau des flaques renfermant des algues brunes.

Ces flaques étaient situées entre Langrune et Luc, sur les rochers calcaires. La quantité d'eau était assez considérable, et les algues contenues dans ces flaques étaient au nombre de sept. Voici les noms des différentes espèces :

1°. *Fucus vesiculosus,* Linn.;
2°. *Fucus serratus,* Linn.;
3°. *Hutchinsia nigrescens,* Agardh;
4°. *Halidrys siliquosa,* Lyngbye;
5°. *Chondrus polymorphus,* Lamouroux;
6°. *Zonaria dichotoma,* Agardh;
7°. *Ceramium rubrum,* Agardh.

Les détails des expériences de ces deux dernières séries sont contenus dans le tableau suivant :

---

(1) *Académie de Berlin,* mai 1844.

Tableau comparatif des analyses sur le gaz extrait de l'eau des flaques renfermant des algues vertes, et d'autres renfermant des algues brunes.

FLAQUES dans lesquelles l'eau a été prise.	DATES.	HEURES de la journée.	ÉTAT du ciel.	VENTS.	TEMPÉRATURE de l'air.	TEMPÉRATURE de l'eau	BAROMÈTRE.	HYDROGÈNE sulfuré contenu dans l'eau.		VOLUME du gaz extrait.	COMPOSITION sur le volume total du gaz.			COMPOSITION en centièmes.		
								Pour 4lit,45	Par litre.		Acide carbonique.	Oxyg.	Azote.	Acide carbonique.	Oxygène	Azote.
		h. m.			o	o	m	cc	cc	cc	cc	cc	cc			
Flaque renfermant des algues vertes.	16 sept.	5. 0 du soir.	Couvert.	N. O.	16,8	17,5	0,7573	1,95	0,44	87,8	9,8	28,4	49,6	11,3	36,4	52,3
	17 sept.	5. 0 du mat.	Couvert.	O.S.O.	16,4	16,0	0,7576	1,55	0,35	81,8	15,0	20,9	45,9	18,2	31,3	50,5
	17 sept.	5. 0 du soir.	Découv.	S.O.	18,0	18,3	0,7581	1,75	0,39	93,1	8,9	32,0	52,2	9,6	38,0	52,4
Flaque renfermant des algues brunes.	18 sept.	5.35 du mat.	Beau.	S.O.	17,0	16,5	0,7590	1,55	0,35	94,4	16,4	27,7	50,3	17,4	35,6	47,0
	18 sept.	5.30 du soir.	Découv.	S. O.	16,8	20,0	0,7576	1,95	0,44	98,0	15,1	30,7	52,2	15,3	37,0	47,6
	20 sept.	5.45 du mat.	Découv.	S. E.	11,5	11,6	0,7651	2,13	0,48	98,5	17,7	28,3	52,5	17,9	35,1	47,0
	20 sept.	5.45 du soir.	Tr.-beau	S. E.	15,0	15,5	0,7660	1,75	0,39	104,6	15,7	31,2	57,7	15,1	37,2	47,7

Les expériences des deux dernières séries ont été faites tantôt sur des flaques ne renfermant, d'une part, que des algues vertes, et, d'autre part, que des algues brunes. Ces expériences nous montrent d'une manière bien évidente l'influence de la lumière solaire sur la végétation; de plus, elles nous montrent que c'est principalement sur la matière verte que cette action a lieu. En effet, en examinant le tableau des analyses, on voit que, pour la flaque contenant les algues vertes, la quantité d'oxygène varie de 31,3 à 38,0 pour 100. Sur les $4^{lit},45$ d'eau sur lesquels nous avons opéré, les variations d'oxygène sont de $20^{cc},9$ à 32 centimètres cubes. Pour la flaque renfermant des algues brunes, les variations sont, au contraire, beaucoup moins grandes; les limites entre lesquelles l'oxygène a varié sont de 35,1 à 37,2 pour 100, ou de $27^{cc},7$ à $31^{cc},2$.

Quant à l'acide carbonique, les variations sont dans le même rapport; ainsi, pour la flaque contenant les algues vertes, nous avons trouvé que la quantité de cet acide varie entre $8^{cc},9$ et 15 centimètres cubes, ou, en centièmes, de 9,6 à 18,2. Pour la flaque contenant les algues brunes, nous avons trouvé, au contraire, que les variations de l'acide carbonique n'étaient que de $15^{cc},1$ à $17^{cc},7$, ou, en centièmes, de 15,1 à 17,9.

Ces résultats ne laissent pas que de présenter quelque intérêt sous le point de vue de la physiologie végétale, et se rattachent à des recherches intéressantes à faire sur la respiration des plantes.

Il résulte également de ces analyses que la quantité d'hydrogène sulfuré est sensiblement plus grande dans l'eau des flaques contenant des algues, que dans l'eau de mer et dans l'eau de flaques ne renfermant aucune végétation. La moyenne de mes analyses donne $0^{cc},41$ par litre d'eau, tandis que, pour l'eau de la mer, la moyenne n'est que de $0^{cc},31$; et pour l'eau des flaques ne renfermant aucune végétation, la moyenne est de $0^{cc},33$. Ces différences s'expliquent très-

aisément, eu égard au grand nombre d'infusoires microscopiques qui, en général, se trouvent autour des plantes marines.

En cherchant à analyser l'air atmosphérique pris au-dessus de ces flaques, je n'ai pas pu trouver de différence sensible par rapport à l'air normal. Je pense qu'il faut attribuer ce résultat à l'action continuelle des vents qui ont régné pendant mon séjour au bord de la mer. Il n'y a néanmoins pas de doute que les variations qu'on trouve dans la composition des gaz dissous dans l'eau de la mer doivent influer sur celle de l'air atmosphérique. Du reste, les expériences de M. Morren le prouvent; favorisé par le beau temps, il a été plus heureux que moi pour démontrer ce fait, qui a servi à confirmer les résultats des expériences que j'ai eu l'honneur d'exécuter, d'après les instructions de l'Académie, il y a trois ans.

Analyses des gaz extraits de l'eau des flaques renfermant des moules.

La flaque sur laquelle j'ai opéré était située sur les rochers calcaires devant Lyon; elle ne contenait aucune végétation, ce qui était presque le cas pour toutes les flaques à cet endroit, et nous n'avons pas pu apercevoir d'autres mollusques que des moules. Du reste, ces rochers sont couverts, sur une très-grande étendue, par des bancs considérables de moules. A une grande distance on sent déjà l'odeur bien prononcée de l'hydrosulfate d'ammoniaque. La flaque dans laquelle l'eau a été prise était assez éloignée des falaises pour que l'eau qu'elle contenait ne fût exposée à l'action des matières animales que pendant une heure et demie à deux heures.

Voici maintenant le tableau des expériences :

Tableau comparatif des analyses sur le gaz extrait de l'eau des flaques renfermant des moules.

DATES.	HEURES de la journée.	ÉTAT du ciel.	VENTS.	TEMPÉRATURE de l'air.	TEMPÉRATURE de l'eau.	BAROMÈTRE.	HYDROGÈNE sulfuré contenu dans l'eau.		VOLUME du gaz extrait	COMPOSITION sur le volume total du gaz.			COMPOSITION en centièmes.			OBSERVATIONS.
							Pour 4lit,45	Par litre.		Acide carbonique et hydrogène sulfuré (1).	Oxyg.	Azote.	Acide carbonique et hydrogène sulfuré (1)	Oxyg.	Azote	
1845.	h. m.			°	°	°	cc	cc	cc	cc	cc	cc				
13 sept.	3.30 soir.	Découv.	N.E.	18,1	21,3	0,7606	7,83	1,75	88,2	32,9	12,4	42,9	37,1	22,4	40,5	La flaque était d'une belle largeur et l'eau était très-limpide.
14 sept.	3.30 mat.	Couvert.	Calme.	13,5	15,0	0,7577	6,63	1,49	94,9	43,2	6,5	45,2	45,5	12,5	42,0	
18 sept.	5.15 mat	Beau.	S.O.	17,0	16,5	0,7590	6,23	1,40	105,3	48,2	6,8	50,3	45,7	12,0	42,3	
18 sept.	5.10 soir.	Découv.	S.O.	16,8	20,0	0,7576	10,90	2,45	"	"	"	"	"	"	"	La flaque avait sensiblem. diminué de volume.
19 sept.	5. 0 mat.	Pluie.	O.S.O.	11,0	11,5	0,7615	16,73	3,76	111,9	51,0	4,1	56,8	45,7	6,7	47,6	La flaque était encore moins grande qu'hier soir.
19 sept.	5. 0 soir.	Tr.-beau	O.	14,9	15,2	0,7647	32,66	7,34	116,8	59,9	0,7	56,2	51,3	1,2	47,5	La flaque ne contenait que tr.-peu d'eau, et l'eau n'était plus tout à fait limpide, elle avait une couleur un peu verdâtre.
20 sept.	5.30 mat.	Découv.	S.E.	11,2	11,6	0,7651	33,06	7,43	114,6	60,6	"	"	52,9	"	"	

(1) N'ayant pas eu à ma disposition les réactifs nécessaires pour doser séparément ces deux gaz, j'ai été obligé de les faire absorber collectivement par la potasse. Quant à l'hydrogène sulfuré, il a été dosé, comme je l'ai dit, dans l'eau avant de le faire bouillir et au moyen du sulfhydromètre de M. Dupasquier.

Dans ces dernières expériences, un autre ordre de phénomènes se présente. En effet, dans les expériences précédentes nous avons vu que l'oxygène variait sous l'influence d'une lumière plus ou moins intense. Ici, nous voyons encore l'oxygène varier, mais dans des limites bien plus écartées; remarquons, de plus, que ces variations ne sont pas dues à l'influence de la lumière solaire, mais uniquement à la présence, en quantités variables, de l'hydrosulfate d'ammoniaque en dissolution dans l'eau. Ces effets vont même jusqu'à faire disparaître la totalité de l'oxygène.

La proportion d'hydrosulfate d'ammoniaque varie dans des limites très-considérables. J'ai trouvé que chaque litre d'eau renfermait de $1^{cc},40$ à $7^{cc},43$. Ces variations s'expliquent d'une manière très-simple, en ayant égard aux variations de la masse d'eau dans la flaque. Quant à la production de cet hydrosulfate d'ammoniaque, c'est également un fait très-facile à comprendre. En effet, j'ai opéré sur une flaque ne contenant que des moules; la matière animale, comme on le sait, réagit sur les sulfates alcalins contenus dans l'eau de la mer et les ramène à l'état de sulfures; ceux-ci, à leur tour, sont décomposés par l'acide carbonique, et l'hydrogène sulfuré mis à nu forme, avec les sels ammoniacaux provenant de la décomposition des matières animales, de l'hydrosulfate d'ammoniaque qui reste en dissolution dans l'eau. En effet, et j'insiste sur ce point, ce n'est point de l'hydrogène sulfuré libre, mais bien de l'hydrosulfate d'ammoniaque que l'on rencontre dans l'eau.

J'ai dit précédemment que la flaque sur laquelle j'ai opéré était située sur des rochers calcaires au devant de Lyon, et à une assez grande distance des falaises, de sorte que l'eau contenue dans la flaque n'avait le contact des matières animales que pendant une ou deux heures. On voit donc qu'il suffit d'un temps très-court pour déterminer une altération très-notable dans la composition du gaz dissous dans l'eau. Si l'eau de la mer ne renfermait point de plantes

vertes ou animalcules propres à fournir une très-grande quantité d'oxygène sous l'influence de la lumière solaire, on verrait sans doute l'oxygène disparaître, et l'hydrosulfate d'ammoniaque se produire, et cela dans des proportions très-considérables.

La production de l'hydrosulfate d'ammoniaque en si grande quantité entraîne nécessairement des émanations gazeuses dans l'atmosphère; aussi, à une distance assez considérable de Lyon, l'air est-il déjà infecté de ces émanations fétides. Maintenant on peut se demander si l'existence de ce composé délétère dans l'atmosphère ne doit pas exercer une influence fâcheuse sur les animaux et en particulier sur l'homme. M. Daniell (1) a déjà attribué à l'hydrogène sulfuré l'action nuisible de l'air sur quelques côtes d'Afrique. Les documents que j'ai pu me procurer sur la mortalité de Lyon comparée à celle des contrées voisines ne justifient en aucune façon une opinion semblable. Une autre localité, bien connue par la quantité très-considérable d'hydrogène sulfuré versé journellement dans l'atmosphère, Montfaucon, est dans le même cas. D'après les informations que j'ai prises, il paraît, en effet, que la santé de la population ne soufre point de ces émanations; et, chose singulière, c'est à Montfaucon que le choléra a le moins sévi.

Quant aux animaux marins, il paraît qu'il y en a un grand nombre sur lesquels l'hydrogène sulfuré ou l'hydrosulfate d'ammoniaque n'exerce aucune action nuisible. Les expériences précédentes le prouvent, car la flaque sur laquelle j'ai opéré était remplie de moules vivantes, et nous avons vu cependant que l'eau contenait de très-grandes quantités d'hydrosulfate d'ammoniaque; dans quelques expériences, l'oxygène avait-il même complétement disparu. Avant d'entreprendre ces expériences, M. de Quatrefages m'avait

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome III, page 340.

déjà communiqué des observations qu'il avait faites pendant son séjour à Chausey; voici la Note qu'il a bien voulu me communiquer à ce sujet :

« Sur quelques points des côtes de Bretagne, et princi-
» palement dans les îles de Chausey, où la récolte des fucus
» ne se fait qu'à de longs intervalles, où les pierres du
» rivage sont plus rarement remuées que sur les points plus
» populeux, j'ai trouvé des pierres reposant depuis long-
» temps sur des touffes de fucus écrasées et en voie de
» décomposition; alors, en enlevant ces pierres, la pré-
» sence de l'acide hydrosulfurique ou de l'hydrosulfate
» d'ammoniaque se reconnaissait très-facilement à l'aide
» de l'odorat seulement. J'ai fait les mêmes observations
» pour certains amas de vase et de sable vaseux. Tous ces
» faits ont été observés également par M. Milne Edwards
» dans les mêmes localités ou des localités analogues, d'a-
» près ce que m'a dit ce célèbre naturaliste. Bien que la
» quantité d'hydrogène sulfuré dissous dans l'eau, placée
» dans les circonstances que je viens de mentionner, doive
» être très-considérable, le dessous de ces pierres et les sa-
» bles dont je viens de parler n'en étaient pas moins habi-
» tés. J'y trouvai un grand nombre d'Annélides, et surtout
» des Cirrhatules, certaines espèces de petits Crustacés,
» des Ophyures, des Cribrines, etc. »

Il est donc évident que pour ces espèces animales, l'hydrogène sulfuré ou l'hydrosulfate d'ammoniaque sont bien loin d'être des poisons aussi actifs que l'on aurait peut-être pu le croire.

Je vais maintenant essayer de résumer les résultats de ce travail, et d'en faire ressortir quelques considérations générales sur l'ensemble des expériences.

En examinant avec soin les tableaux précédents, on voit que la composition des gaz tenus en dissolution dans

RECHERCHES SUR L'EAU RÉGALE

Et sur un produit particulier auquel elle doit ses principales propriétés (1);

PAR M. A. BAUDRIMONT.

(Présenté à l'Académie des Sciences, le 20 novembre 1843.)

Les plus anciens chimistes dont les écrits nous sont restés, ont connu plusieurs mélanges auxquels ils ont donné le nom d'*eau régale*, parce qu'ils jouissent de la propriété de dissoudre l'or qu'ils considéraient comme le roi des métaux. Tantôt ils les obtenaient en unissant l'esprit de nitre avec le sel marin ou le sel ammoniac; tantôt en unissant l'esprit de sel avec le nitre, ou bien en mêlant l'esprit de nitre et l'esprit de sel, ou bien encore en distillant ensemble le nitre, le sel marin et le vitriol vert.

Berthollet et H. Davy ont émis l'opinion que l'eau régale ordinaire contenait de l'acide hypoazotique mélangé avec du chlore, et que c'était à ce dernier corps qu'il fallait attribuer son action sur l'or. Depuis, cette opinion a été généralement adoptée par les chimistes. Cependant, en 1831, M. Edmond Davy a publié le résultat d'expériences par lesquelles il a pensé démontrer que l'eau régale ne devait point la propriété de dissoudre l'or à la présence du chlore libre, mais à un gaz particulier qu'il a nommé chloronitreux (2). Ce savant obtient ce gaz en traitant par l'acide azotique concentré le chlorure de sodium, de potassium ou de calcium, fondu et réduit en poudre; il le recueille en le faisant parvenir dans des flacons, de la même manière que s'il s'agissait d'obtenir le chlore sec.

---

(1) Dans le courant de ces recherches, O = 100, H = 12,5, Az = 175 et Cl = 442,6.

(2) Abstracts of the papers printed in the *Philosophical Transactions* of the royal Society of London. From 1830 to 1837 inclusive; vol. III, page 27.

Selon M. Edmond Davy, le gaz chloronitreux est formé de volumes égaux de bioxyde d'azote et de chlore, non condensés, et son poids spécifique est de 1,759. Le procédé suivi pour l'obtenir et la composition qui lui est assignée, démontrent facilement que l'on ne peut l'avoir que mélangé avec du chlore, ainsi que cela résulte de l'égalité suivante :

$$4AzO_6H + 3ClNa = 3AzO_6Na + AzO_2, Cl_2 + Cl.$$

La présence du chlore, dans le produit obtenu par M. Edmond Davy, n'ayant point dû permettre de l'étudier d'une manière convenable, j'ai pensé que de nouvelles recherches sur cet objet ne seraient point sans intérêt, et je m'y suis livré dès le commencement de l'hiver dernier.

Ce sont les résultats auxquels je suis parvenu que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie.

Ce travail sera divisé en quatre parties : dans la première, il sera question de l'extraction d'un produit particulier auquel l'eau régale doit ses principales propriétés ; dans la seconde partie, je ferai connaître les différents moyens employés pour soumettre ce corps à l'analyse ; dans la troisième partie, seront exposées ses propriétés physiques, et dans la quatrième partie enfin, j'indiquerai les principales réactions auxquelles cet agent peut donner lieu lorsqu'on le met successivement en contact avec une suite de corps de divers ordres.

Extraction du produit actif de l'eau régale.

En mêlant ensemble 3 parties pondérales d'azotate hydrique du commerce ayant un poids spécifique d'environ 1,314, et 5 parties de chlorure hydrique ayant 1,156 pour poids spécifique, on obtient une liqueur incolore qui devient rouge après un temps variable, selon la température ambiante et peut-être selon l'intensité de la lumière. Mais si l'on chauffe le mélange, il devient rouge vers + 86 degrés, et abandonne une vapeur de la même couleur ; peu à

peu sa température s'élève jusqu'à + 109°,8 : alors elle demeure invariable pendant tout le temps de l'opération.

Si l'on recueille le produit de la distillation dans un récipient convenablement refroidi, on obtient une liqueur colorée en rouge; mais si, au lieu d'opérer ainsi, on place seulement un vase de verre sous le col de la cornue, communiquant alors librement avec l'air, il se dégage une vapeur rouge, qui ne se condense pas, et il distille un liquide incolore qui tombe dans le vase de verre.

Cette expérience indique nettement que cette distillation donne deux produits distincts: une vapeur rouge très-volatile et un produit incolore plus fixe. Elle indique encore que la température de 109°,8, qui est demeurée sensiblement invariable pendant toute la durée de la distillation lente de plusieurs litres d'eau régale ordinaire, ne représente pas un *point d'ébullition*, mais *un point fixe de décomposition*.

En suivant cette distillation avec soin, on voit que le produit rouge est le seul qui se dégage avant l'ébullition, et que sa quantité va en diminuant jusqu'à la fin de l'opération.

La production, d'abord très-abondante, de la vapeur rouge et la facile condensation du produit incolore permettent de séparer ces deux corps.

Si l'on fait passer le produit de la distillation lente de l'eau régale dans un tube en U plongeant dans la glace, le produit incolore s'y condense en retenant une petite quantité de la matière colorée, et la vapeur rouge s'échappe à peu près pure. On peut, par un second tube en U, placé en sens inverse du tube condensateur, la faire parvenir dans un flacon et la recueillir de même que le chlore sec. On peut aussi la faire parvenir, à l'aide de tubes effilés, dans des ampoules plongées dans un mélange réfrigérant de glace et de sel marin. Dans ce cas, elle se condense en un liquide rouge, bouillant à une très-basse température, et que l'on

ne peut conserver que dans des tubes scellés à la lampe d'émailleur.

Pour éviter des périphrases, ce produit sera nommé *acide chlorazotique*.

ANALYSE DE L'ACIDE CHLORAZOTIQUE.

Les produits employés pour préparer l'acide chlorazotique indiquent bien évidemment que ce corps ne peut contenir autre chose que de l'azote, de l'oxygène, du chlore et de l'hydrogène. Il était donc convenable de rechercher la présence de chacun de ces corps et de les doser. Les expériences qui suivent sont relatives aux trois premiers corps. Aucune réaction de l'acide chlorazotique n'indique qu'il contient de l'hydrogène, et la comparaison du poids spécifique de sa vapeur, avec les données analytiques qui vont suivre, conduit au même résultat.

Dosage de l'azote, du chlore et de l'oxygène.

Après avoir étudié les principales réactions de la vapeur d'acide chlorazotique, il paraissait possible d'en faire l'analyse en la faisant passer dans un tube de verre contenant de la planure de cuivre, d'abord oxydée par le grillage, puis réduite par l'hydrogène: le chlore et l'oxygène s'unissant avec le cuivre, l'azote devait être mis en liberté, et la mesure de son volume devait conduire à la détermination de son poids. D'une autre part, le tube à cuivre, pesé avant et après l'expérience, devait, par la différence de ces deux pesées, donner la somme des quantités d'oxygène et de chlore unis au cuivre. En dissolvant ensuite par l'azotate hydrique le produit demeuré dans le tube de verre, il devenait possible de doser le chlore. Le poids de ce corps, retranché de la somme des poids réunis du chlore et de l'oxygène, devait donner nécessairement le poids de ce dernier, et indiquer, par cette suite de recherches, les rap-

ports des quantités pondérales de l'azote, de l'oxygène et du chlore. La dernière partie de l'expérience n'a pu être exécutée; car les produits contenus dans le tube adhèrent tellement à ses parois, que je n'ai pu parvenir à les dissoudre d'une manière satisfaisante.

Avant de faire passer un courant de vapeur chlorazotique dans le tube contenant le cuivre, on y a fait passer un courant d'acide carbonique, afin d'éliminer l'air dont l'oxygène aurait pu se fixer sur le cuivre, et dont l'azote se serait trouvé mêlé avec celui provenant de la vapeur chlorazotique. Ayant opéré sur l'eau, l'azote a été agité avec quelques fragments de potasse caustique pour le priver d'acide carbonique.

Voici les données de l'expérience :

Le tube contenant le cuivre, pesé avant et après l'expérience, présenta une augmentation de poids de $2^{gr},246$.

Pression..........	$0^{m},7412$
Température..........................	$+7^{o},8$
Volume de l'azote saturé d'humidité........	$0^{lit},275$
De là on déduit le poids de l'azote sec.......	$0^{gr},3258$

Le rapport $\frac{0,3258}{2,246+0,3258}=0,126$ indique 0,126 d'azote dans l'acide chlorazotique.

Le poids de l'azote étant 0,3258, on obtient 1206 pour nombre proportionnel du chlore et de l'oxygène réunis. En supposant 2 équivalents de chlore et 3 équivalents d'oxygène, la théorie indique le nombre 1185 qui diffère du précédent, mais d'une quantité renfermée dans de telles limites, que l'on ne peut interpréter ce nombre d'une autre manière. Cette donnée, toutefois, coïncide avec celles résultant d'expériences d'un autre ordre.

Quels qu'aient été les soins apportés à cette détermination, l'azote contenait une petite quantité de bioxyde d'azote. Elle a été recommencée avec toutes les précautions imagi-

nables en opérant avec un tube à cuivre de plus de 80 centimètres de long, et pourtant le résultat a encore été le même.

Détermination du chlore.

Une ampoule soudée, contenant de l'acide chlorazotique liquide, fut introduite dans un vase à précipiter contenant de l'eau, et susceptible d'être fermé avec un bouchon. Ce vase fut bouché et agité pour rompre l'ampoule, et dissoudre le liquide qu'elle contenait. Le restant de l'ampoule fut brisé avec une forte baguette de verre, pour éviter qu'elle retînt de l'acide chlorazotique. Ensuite, on ajouta à cette liqueur, en prenant les précautions convenables, une dissolution titrée d'azotate d'argent, jusqu'à ce que la dissolution n'indiquât plus une trace de chlore.

Voici les données de l'expérience :

Acide chlorazotique................................	$0^{gr},695$
Liqueur titrée....................................	$17^{cc},75$
Quantité d'argent contenue dans chaque centimètre cube.	$0^{gr},077925$

On déduit de là

$$17,75 \times 0,077925 = 1^{gr},383.$$

$1^{gr},383$ d'argent sont équivalents à $0^{gr},452$ de chlore; cette quantité de chlore est donc celle contenue dans $0^{gr},695$ d'acide chlorazotique.

Le rapport $\frac{0,452}{0,695} = 0,650$ indique que l'acide chlorazotique contient 0,650 de chlore. Connaissant d'une manière suffisamment approximative la composition de l'acide chlorazotique, l'expérience précédente fut modifiée, et répétée plusieurs fois de la manière suivante.

Comme on le verra bientôt, les expériences précédentes assignent à l'acide chlorazotique AzO_3Cl_2 pour formule, et 1360 pour équivalent. Ce nombre correspond à deux fois l'équivalent du chlore, ou 885, et à deux fois celui de l'argent, ou 2700 (1). Or, après avoir pesé une quantité

quelconque d'acide chlorazotique dans une ampoule fermée, on pouvait calculer d'avance combien il fallait d'argent pour le décomposer complétement. En pesant cet argent, le dissolvant dans l'azotate hydrique, et ajoutant l'azotate produit à la dissolution aqueuse d'acide chlorazotique, préparée comme pour l'expérience précédente, il devait y avoir une décomposition complète, et la liqueur, après la réaction, ne devait plus précipiter ni par l'azotate argentique, ni par le chlorure sodique dissous.

Voici le résultat de quelques expériences entreprises dans cette direction :

Une ampoule marquée *a*, et une ampoule marquée *b*, dont le liquide avait été obtenu dans une même opération, et dans l'ordre indiqué par ces lettres, contenaient les quantités suivantes d'acide chlorazotique (les quantités d'argent nécessaires pour les décomposer sont indiquées en regard) :

	gr		gr
Ampoule *a*, acide.....	0,5225	argent.....	1,0373
Ampoule *b*, acide.....	0,418	argent.....	0,8293

La quantité d'argent calculée pour décomposer ce liquide contenu dans l'ampoule *a* fut loin d'être suffisante; il fallut ajouter $49^{cc},5$ de liqueur d'argent titré, contenant 1 milligramme d'argent par centimètre cube.

La quantité d'argent calculée pour décomposer le liquide contenu dans l'ampoule *b*, fut exactement suffisante : après la réaction, la liqueur ne précipitait plus ni par l'azotate argentique, ni par le chlorure sodique.

Cette expérience démontre qu'au commencement de l'opération, l'acide chloracétique peut contenir du gaz chlorhydrique qui a échappé à la réaction.

Les proportions d'azotate hydrique et de chlorure hydrique avaient été calculées d'après la densité de ces li-

(1) Des expériences entreprises avec M. Vivien nous ont démontré que l'équivalent de l'argent est plus près de 1350 que de 1351,6, qui est généralement adopté.

quides. Pour 100 parties d'azotate il y en avait 165 de chlorure.

Si l'on emploie 2 volumes de chlorure hydrique ou d'azotate, on obtient pendant longtemps de l'acide chlorazotique contenant un excès de chlore. Si, au contraire, on emploie 2 volumes d'azotate contre 1 de chlorure, l'acide chlorazotique qui en résulte est moins chloré qu'il ne doit l'être, probablement parce qu'il passe en même temps que lui quelque produit de la décomposition de l'azotate hydrique. Ces faits ont été vérifiés par des expériences semblables aux précédentes : dans la première de ces expériences, 0gr,833 d'acide chlorazotique ont exigé 1gr,755 d'argent, au lieu de 1,6555 que la théorie indique. Dans le second cas, 1gr,1485 d'argent furent plus que suffisants pour décomposer 0gr,5785 d'acide chlorazotique.

DISCUSSION DE LA COMPOSITION DE L'ACIDE CHLORAZOTIQUE.

On a vu, par les expériences précédentes, que l'acide chlorazotique contenait 0,126 d'azote et 0,650 de chlore. Or, la composition bien connue des produits qui servent à le former, et les réactions auxquelles il donne lieu, ne permettant pas que l'on puisse penser qu'il renferme autre chose que de l'azote, du chlore et de l'oxygène, il en résulte que la différence entre la somme des quantités d'azote et de chlore et l'unité, doit donner la quantité d'oxygène.

On a donc

$$1 - (0,126 + 0,650) = 0,224\,;$$

ce qui donne la composition suivante pour l'acide chlorazotique :

Azote	0,126
Oxygène	0,224
Chlore	0,650
Acide chlorazotique	1,000

Le dosage du chlore offrant plus de chances de précision

que celui de l'azote, on peut s'en servir pour trouver l'équivalent de l'acide chlorazotique et celui des autres éléments. Si donc on suppose que cet acide contient 1 équivalent de chlore, et si l'on fait les proportions convenables, on trouve les valeurs suivantes :

Équivalent de l'acide chlorazotique			681
Quantités correspondantes	d'oxygène	152	681
	d'azote	87	
	de chlore	442	

En doublant ces résultats pour avoir des entiers, et en corrigeant les données de l'expérience, on trouve :

Azote	175	Az
Oxygène	300	3O
Chlore	885	2Cl
	1360	AzO_3Cl_2

Le produit auquel l'eau régale doit son action a donc la même composition que celle qui est assignée à l'acide azotique supposé anhydre, à cela près que 2 équivalents d'oxygène de ce corps sont remplacés par 2 équivalents de chlore. On a

$$AzO_5 \text{ ou } Az\overline{O_3O_2} \text{ représenté par } Az\overline{O_3Cl_2}.$$

L'acide chlorazotique se détruisant en réagissant sur les bases, on n'a, jusqu'à présent, d'autre moyen de fixer son équivalent que par la similitude de sa formule avec celle de l'acide azotique.

En me fondant sur les données précédentes, et sur celles acquises à la science depuis la découverte de l'acide chlorosulfurique, j'ai désigné ce produit sous le nom d'acide *chlorazotique*, uniquement pour rappeler l'analogie existante entre sa composition et celle de l'acide azotique, quoique, en réalité, il ne sature les bases en aucune manière et ne soit point par cela même un véritable acide.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE L'ACIDE CHLORAZOTIQUE.

A une température suffisamment basse, l'acide chlorazotique est un liquide rouge et limpide, surmonté de vapeurs de la même couleur : son point d'ébullition est — 7°,2. Il résulte de là que cet acide est gazeux à la température ordinaire du climat que nous habitons. Sous forme de gaz, il est rouge et possède une odeur suffocante, analogue à celle du chlore, mais en différant cependant d'une manière notable.

L'extrême volatilité de l'acide chlorazotique a apporté des difficultés presque insurmontables à la détermination de ses principales propriétés. Aussi plusieurs des nombres qui vont suivre n'auront point toute la précision désirable et n'auront pu souvent être obtenus que par des procédés tout particuliers.

Poids spécifique de l'acide chlorazotique liquide.

Une ampoule vide a été pesée, ensuite on l'a remplie d'acide chlorazotique. Après avoir fermé cette ampoule à la lampe, le niveau supérieur du liquide a été marqué par un trait fait au diamant, à la température de + 8 degrés. Ensuite l'extrémité supérieure du tube a été coupée. L'acide est immédiatement passé à l'état de fluide aériforme, et le restant de la vapeur a été chassé de l'ampoule en soufflant dedans à l'aide d'un soufflet terminé par un tube de verre très-effilé. Alors l'ampoule fut remplie d'eau distillée à la température de + 8 degrés. Cette eau atteignait exactement le trait fait au diamant. En pesant de nouveau cette ampoule avec la partie qui en avait été séparée en l'ouvrant pour chasser l'acide chlorazotique, on a les données nécessaires pour déterminer le poids spécifique de ce dernier corps.

Voici les données de l'expérience :

Poids de l'ampoule vide	3,3812 gr
Poids de l'ampoule pleine d'acide	5,6862
Poids de l'ampoule pleine d'eau, y compris le petit bout de verre coupé à son extrémité	5,0665
Poids spécifique de l'acide chlorazotique	1,3677

Coefficient de dilatation de l'acide chlorazotique liquide.

La nécessité d'employer un tube d'un calibre un peu fort afin de pouvoir y introduire l'acide au moyen d'un tube effilé, n'a pas permis d'atteindre un grand degré de précision dans les expériences qui vont suivre, quoique rien n'ait été négligé pour les rendre irréprochables.

Après avoir cherché un tube d'un calibre égal (1) et d'environ 20 centimètres de long, il fut coupé.

Une de ses extrémités fut soufflée à la lampe afin de lui donner la forme d'un thermomètre à réservoir sphérique. L'extrémité opposée au réservoir fut amincie et effilée, afin de la rendre facilement fusible.

Le tube fut d'abord pesé vide; puis du mercure y fut introduit de manière à le remplir jusqu'au-dessus de son réservoir. Alors il fut pesé de nouveau, puis plongé dans la glace fondante, et un repère fut marqué à l'endroit où le mercure s'arrêta. Le même tube fut porté à + 100 degrés, et un nouveau repère indiqua la hauteur à laquelle parvint le mercure. Après cette opération préliminaire, le tube reçut une nouvelle quantité de mercure, fut replacé dans la glace fondante, et un nouveau repère indiqua la hauteur à laquelle le mercure parvint. Le tube fut alors pesé de nouveau.

L'instrument fut ensuite vidé du mercure qu'il contenait, puis rempli en partie d'acide chlorazotique et soudé au chalumeau; enfin il fut pendu verticalement, et la distance

---

(1) Les tubes, dont le diamètre extérieur est le même au milieu et aux deux extrémités, ont généralement un calibre uniforme. Le calibre de celui que j'ai employé, sur une longueur de 25 centimètres, n'a pas offert la moindre différence en l'essayant avec une colonne de mercure.

des différents repères fut mesurée avec un cathétomètre, donnant le vingtième du millimètre.

Voici les données de ces diverses expériences :

Poids du mercure contenu primitivement dans l'instrument.	$26^{gr},725$
Poids du mercure ajouté ensuite	$1^{gr},350$

Premier repère à 0 degré	$2248^{dm},0$
Premier repère à 100 degrés	$2548^{dm},5$
Deuxième repère à 0 degré	$3280^{dm},0$

Le coefficient de dilatation cubique du mercure étant 0,000180 pour 1 degré entre 0 et 100 degrés, on trouve le coefficient de dilatation cubique du verre de l'instrument égal à 0,000032.

Ce coefficient est inexact et plus grand que ceux obtenus par M. Regnault; mais je le donne tel qu'il est résulté de l'expérience, et l'on verra ultérieurement qu'il a peu d'importance, attendu que le coefficient de dilatation de l'acide chlorazotique est très-considérable.

Les mesures obtenues avec l'acide chlorazotique contenu dans le tube sont les suivantes :

Première observation.

	dm
Repère du mercure à 0 degré	2316,5
Repère du liquide à 0 degré	2204,0
Repère du liquide à + 6 degrés	2335,0

Deuxième observation.

	dm
Repère du mercure à 0 degré	2202,5
Hauteur inférieure du ménisque du liquide à $+6°,4$.	2442,5
Hauteur inférieure du ménisque à $+18°,4$	2909,5

Ces observations donnent pour coefficient de la dilatation apparente de l'acide chlorazotique liquide dans le verre :

Entre 0 et 6 degrés	0,0020091
Entre $6°,4$ et $18°,4$	0,0035648

Sa dilatation absolue est

Entre 0 et 6 degrés	0,0020411
Entre $6°,4$ et $18°,4$	0,0035968

L'accroissement considérable du coefficient de dilatation de l'acide chlorazotique dans des limites peu étendues n'a

rien qui doive étonner, si l'on songe que ce coefficient est déterminé à des températures supérieures au point d'ébullition du liquide, et que l'acide carbonique a déjà donné un exemple de cet ordre encore plus remarquable.

Action capillaire de l'acide chlorazotique.

Un tube de verre de $1^{mm},2$ de diamètre intérieur et de $3^{mm},2$ de diamètre extérieur, mesuré à l'aide d'un cathétomètre muni d'une lunette amplifiante, fut introduit dans un tube de 12 millimètres de diamètre intérieur. Ce dernier tube était scellé à une extrémité, il fut effilé au-dessus du tube que l'on y avait introduit; on y condensa de la vapeur chlorazotique et on le ferma ensuite à la lampe.

Ce tube, suspendu de manière que celui qu'il renfermait fût dans une position verticale, permit de mesurer la différence des deux niveaux à l'aide d'un cathétomètre; cependant les résultats obtenus présentent de l'incertitude à cause de la difficulté d'apprécier la hauteur réelle du niveau inférieur, difficulté qui tient à la couleur foncée du liquide.

La différence de hauteur de la partie inférieure des ménisques interne et externe a varié entre 5 millimètres et $4^{mm},65$; par une différence de température de $0^{\circ},4$, la température initiale était de $6^{\circ},8$. L'accroissement rapide du coefficient de dilatation de l'acide chlorazotique entre pour quelque chose dans l'imparité de ces observations.

Détermination du poids spécifique de la vapeur d'acide chlorazotique.

Ayant à redouter que l'acide chlorazotique ne fût qu'un mélange gazeux de chlore et d'acide hypoazotique, le poids spécifique de sa vapeur a été déterminé par deux procédés différents pour lever toute incertitude.

L'un d'eux était à peu près identique à celui qui est employé pour déterminer le poids spécifique des gaz qui atta-

quent les métaux, comme le chlore; l'autre a été le procédé de M. Dumas.

Un tube de près de 4 centimètres de diamètre fut scellé à une extrémité et effilé à l'autre extrémité à une distance d'environ $0^m,20$ de sa base. Il fut adapté à une pompe pneumatique, vidé de l'air qu'il contenait et rempli d'air sec jusqu'à dix fois; ensuite il fut posé verticalement sur sa base, et un thermomètre fut placé très-près de lui. Après un temps suffisant pour que le thermomètre et le tube aient acquis la température ambiante, on remplit ce dernier de vapeur chlorazotique par voie de déplacement, et on le souda ensuite.

Voici les données et le résultat de cette expérience :

Pression atmosphérique	$75^c,72$
Température de l'air sec contenu dans le tube	$7^o,2$
Température de la vapeur	$11^o,8$
Excès du poids de la vapeur sur celui de l'air sec	$0^{gr},194$
Capacité du tube	$0^{lit},110$
Volume de la vapeur	$0^{lit},106$
Air mêlé au gaz	$0^{lit},004$
Poids du litre de vapeur chlorazotique à 0 degré et à 76 centimètres de pression barométrique	$3^{gr},236$
Poids spécifique de la vapeur chlorazotique	$2^{gr},49$

La deuxième expérience fut faite par le procédé de M. Dumas. Le vide avait d'abord été fait un grand nombre de fois dans le ballon que l'on remplissait d'air sec. Il fut ensuite plongé dans un bain d'eau à la température ambiante, après y avoir introduit de l'acide chlorazotique liquide.

Pression initiale	$76^c,25$
Température ambiante	$7^o,25$
Excès du poids du ballon plein de vapeur chlorazotique sur celui de l'air sec à + 8 degrés	$0^{gr},5015$
Capacité du ballon	$0^{lit},315$
Air resté dans le ballon	$0^{lit},041$
Pression à laquelle cet air est soumis	$75^c,72$
Sa température	$8^o,00$
Poids de 1 litre de vapeur chlorazotique	$3^{gr},178$
Poids spécifique de la vapeur chlorazotique	$2^{gr},45$

Ces deux expériences ne coïncident pas parfaitement, mais elles ne permettent pas d'interpréter la composition

de l'acide chlorazotique autrement qu'elle l'a été précédemment. La première est parfaitement d'accord avec la théorie, et ne permet en aucune manière d'admettre les résultats annoncés par M. Ed. Davy.

La composition de l'acide chlorazotique étant déterminée, il est facile de voir qu'elle offre une relation évidente avec celle que l'on peut déduire du poids spécifique de sa vapeur.

Les éléments de l'acide chlorazotique, réduits en volumes et les volumes multipliés par les poids spécifiques correspondants, donnent les résultats suivants :

Az ou 2 volumes.......	$2 \times 0{,}9727$	$= 1{,}9440$
O_3 ou 3 volumes.......	$3 \times 1{,}1057$	$= 3{,}3171$
Cl_2 ou 4 volumes.......	$4 \times 2{,}4216$	$= 9{,}6864$
9 volumes élémentaires donnent...		$14{,}9475$

Une des expériences sur le poids spécifique de l'acide chlorazotique a donné 2,49, l'autre a donné 2,45 et conduirait encore au même résultat :

$$\frac{14{,}9475}{6} = 2{,}49.$$

Ainsi, 9 volumes des gaz élémentaires qui forment l'acide chlorazotique sont condensés en 6 volumes.

Un volume de cet acide contient donc :

$\frac{1}{3}$ de volume d'azote...
$\frac{1}{2}$ volume d'oxygène...
$\frac{2}{3}$ de volume de chlore.
} = 1 volume de vapeur chlorazotique.

J'ai tenté de déterminer la chaleur spécifique ainsi que l'indice de réfraction de l'acide chlorazotique liquide et la chaleur latente de sa vapeur; mais, n'ayant pu y consacrer tout le temps désirable, les résultats que j'ai obtenus sont trop imparfaits pour être livrés à la publicité.

RÉACTIONS CHIMIQUES DE L'ACIDE CHLORAZOTIQUE.

Réactions produites par l'acide chlorazotique liquide.

L'extrême volatilité de l'acide chlorazotique rend fort difficile l'étude de ses réactions. Ce n'est qu'en le mainte-

nant à une très-basse température que l'on a pu en essayer quelques-unes.

Avec le phosphore, l'acide entre en ébullition et disparaît sans l'avoir attaqué sensiblement.

L'arsenic en poudre est attaqué, et donne une matière blanche.

L'argent en poudre, obtenu par la réduction du chlorure, fait entendre une déflagration, et le liquide disparaît.

L'or est dissous rapidement.

Le platine est plus difficilement attaqué.

L'alcool prend une odeur éthérée analogue à celle de l'azotite éthérique.

Réactions produites par le gaz chlorazotique.

Le gaz chlorazotique paraît sans action sur le phosphore à la température ordinaire; ce dernier peut même être liquéfié par la chaleur sans que la réaction devienne plus apparente. Cette indifférence chimique indique bien positivement qu'il n'y a point de chlore libre dans la vapeur chlorazotique, à moins, toutefois, que cette indifférence ne puisse être attribuée à la présence d'un troisième corps, de même que la vapeur d'une huile volatile fait perdre au phosphammoniaque la propriété de s'enflammer au contact de l'air.

L'arsenic et l'antimoine pulvérisés brûlent vivement lorsqu'on les projette dans le gaz chlorazotique.

Le bismuth est attaqué immédiatement, donne des vapeurs blanches et pas de lumière.

Le potassium est attaqué lentement à la température ordinaire; mais la réaction devient violente lorsqu'on le chauffe jusqu'au point de la foudre, il y a élévation subite de température et apparition d'une vive lumière.

L'or est attaqué.

Une lame de cuivre, chauffée jusqu'au rouge sombre, brûle assez vivement.

L'étain, chauffé jusqu'au point d'entrer en fusion, ne paraît pas immédiatement attaqué; mais peu de temps après il est terni et blanchi.

Le mercure est attaqué immédiatement et donne lieu à une réaction singulière; la moitié du gaz disparaît et le reste est du bioxyde d'azote entièrement absorbable par une dissolution de sulfate ferreux.

L'expérience a été faite dans un tube gradué, rempli par déplacement. Le gaz occupait 82 divisions de ce tube; après douze heures, la réaction était complète, et il restait 41 divisions de bioxyde d'azote. Trente-six heures après, le volume du gaz était resté le même. La température n'avait pas varié de plus de $0^{\circ},2$ pendant la durée de cette expérience.

Cette expérience avait été faite par M. Ed. Davy, et paraissait entièrement en faveur de l'opinion qu'il avait émise sur la composition du gaz chloronitreux; mais, convaincu qu'il y avait erreur de ce côté, quelques expériences ont été tentées pour étudier cette singulière réaction.

Un litre de gaz a été agité avec du mercure dans un flacon bouché. Le flacon ayant été ouvert, il est rentré de l'air et il s'est formé de la vapeur azotique qui a été chassée par le vent d'un soufflet auquel avait été ajusté un tube. Ensuite de l'eau a été agitée avec le mercure, et l'on a filtré. Cette liqueur ne précipitait point par le chlorure de sodium, circonstance qui exclut la présence d'un sel correspondant au protoxyde de mercure; elle précipite en blanc par l'ammoniaque et par l'azotate argentique, ce qui indique la présence du bichlorure de mercure. La liqueur, soumise ensuite à l'évaporation, a donné des cristaux assez abondants. Je me proposais d'examiner ce produit et d'y rechercher la présence d'un composé azoté qui eût assuré la réaction suivante; mais je n'ai pu donner suite à ces recherches.

La réaction probable peut être représentée par l'égalité suivante :

$$4\overbrace{(AzO_3,Cl_2)}^{\text{24 volumes}} + 9Hg = 8HgCl + AzO_6,Hg + \overbrace{3AzO_2}^{\text{12 volumes.}}.$$

Dans cette réaction, la moitié de l'oxygène est dans le bioxyde d'azote, et la moitié dans l'azotate de mercure. Les trois quarts de l'azote sont dans le bioxyde d'azote, et le dernier quart dans l'azotate mercurique..

Si l'on fait passer un courant de vapeur chlorazotique dans du sulfate hydrique concentré, il se dégage un mélange gazeux de chlore et de chlorure hydrique à peu près égaux en volumes. L'acide sulfurique devient jaune, se trouble du jour au lendemain et acquiert un poids spécifique de 1,9076. Plusieurs bases ont été saturées par ce composé, mais on n'a pas étudié les sels qu'il a formés.

La vapeur chlorazotique, mise en contact avec du papier de tournesol bien sec, ne le rougit point, mais elle le décolore du jour au lendemain. Elle rougit immédiatement le papier de tournesol dans l'état hygroscopique ordinaire.

L'alcool est altéré par la vapeur chlorazotique, et il prend une odeur éthérée.

A la température de 0 degré, l'eau dissout 0,3928 de son poids d'acide chlorazotique ou 121 fois son volume. La liqueur est rouge, elle répand l'odeur de l'acide chlorazotique; son poids spécifique est de 1,1611. Cette liqueur, renfermée dans un tube scellé à la lampe et soumise à l'action solaire pendant plusieurs mois, ne change pas de couleur, tandis qu'elle se décolore toujours dans les flacons les mieux bouchés en apparence, même dans l'obscurité. Elle jouit de toutes les propriétés attribuées à l'eau régale.

L'acide chlorazotique ne sature point les bases; lorsqu'on en fait passer un courant dans une dissolution de potasse, il donne une liqueur qui cristallise par l'évaporation et donne des cristaux de chlorure et d'azotate potassiques; les premiers sont beaucoup plus abondants que les derniers. La théorie indique qu'il doit y en avoir deux proportions contre une; mais si le courant de vapeur continuait pendant long-

temps, il est probable qu'il n'existerait plus d'azotate, et que l'on ne retrouverait plus que du chlorure.

Le carbonate de strontiane, tenu en suspension dans l'eau, est décomposé par un courant de vapeur chlorazotiques, et donne un mélange de chlorure et d'azotate strontiques. L'oxyde d'argent est décomposé de la même manière, et donne des composés correspondants.

De ce que l'acide chlorazotique ne donne aucun gaz en s'unissant aux bases, il faut en conclure qu'il est réellement équivalent de l'acide azotique, et que l'oxygène de la base, remplaçant le chlore, est lui-même remplacé par ce dernier, comme cette équation l'indique:

$$AzO_8Cl_2 + 3\Delta O = AzO_6 + 2Cl\,\Delta.$$

D'une autre part, de nombreux essais ont été tentés pour produire de l'acide chlorazotique de toutes pièces, en faisant passer un courant de chlore et de bioxyde d'azote ou de vapeur azotique dans des tubes plongeant dans des mélanges réfrigérants; aucun n'a réussi. L'acide chlorazotique a donc véritablement la composition qui lui a été assignée dans ce Mémoire.

HISTOIRE DE L'ARTILLERIE. — (Première partie.)

Du feu grégeois et des feux de guerre et des origines de la poudre à canon, d'après des textes nouveaux (1);

Par MM. REINAUD et FAVÉ.

Compte rendu par M. le docteur Ch. Daremberg,
Bibliothécaire de l'Académie de Médecine.

L'histoire du feu grégeois et des autres feux de guerre se rattache intimement à l'histoire de la chimie antique;

(1) Paris, 1845, 1 v. in-8° de 287 pages avec atlas. Chez Dumaine, libraire.

c'est à ce titre que nous rendons compte dans les *Annales* du livre dont le titre précède. Nous devons, avant de l'analyser, donner quelques détails sur son origine.

M. Favé se proposait, depuis plusieurs années, de publier une histoire de l'artillerie; les longues et minutieuses recherches qu'il fit sur ce sujet le conduisirent bientôt à rejeter l'opinion vulgaire qui attribue l'invention de la poudre à canon à un certain Schwartz, moine alchimiste du XIV[e] siècle, qui l'aurait découverte par hasard. Il entrevit bientôt, au contraire, une relation entre la poudre à canon et le feu grégeois, dont les Grecs du Bas-Empire et les Arabes se servaient dans la première période du moyen âge. Ce fut pour asseoir sa conviction à cet égard qu'il s'adressa à M. Reinaud, afin d'obtenir de plus amples renseignements en ce qui concerne les Arabes.

M. Reinaud, dont l'obligeance égale l'érudition, s'empressa de communiquer à M. Favé les matériaux qu'il avait rassemblés sur ce sujet, dont il s'était précisément occupé à diverses reprises; il y ajouta même la traduction de deux manuscrits arabes, qui contenaient une liste assez longue des compositions incendiaires en usage chez les Arabes dans le XIII[e] siècle. Un de ces manuscrits offre des représentations de divers instruments dont on se servait alors pour lancer ces compositions sur l'ennemi.

Grâce à ces secours mutuels et à des renseignements tirés, pour les Arabes et les Grecs, d'auteurs originaux ou du moyen âge, et pour les Chinois, fournis soit par les rapports des missionnaires, soit par les bienveillantes communications de M. Stanislas Julien, les auteurs de l'ouvrage dont nous parlons sont parvenus à des résultats plus satisfaisants qu'aucun de leurs prédécesseurs. C'est ainsi qu'un point d'érudition qui, dans la pensée de M. Favé, devait d'abord faire une simple Note, a donné naissance à un volume dans lequel sont consignées des recherches aussi nouvelles qu'intéressantes.

Nous commencerons cette analyse par une critique; mais elle porte plutôt sur la forme que sur le fond. Les auteurs nous montrent trop l'aridité des voies qu'ils ont parcourues pour arriver à leur but; ils dressent trop devant nous l'échafaudage des recherches pénibles qu'ils ont été obligés de faire; en un mot, ils ont plutôt fait une série de Mémoires ou de Notes sur les origines de la poudre à canon, qu'une histoire systématique du feu grégeois; les conclusions ne sont pas assez nettes, et, après avoir étudié l'ouvrage, le lecteur est obligé de chercher lui-même ces conclusions. C'est précisément pour faire disparaître en quelque sorte ce défaut que nous présenterons ici un résumé, aussi succinct que possible, des recherches de MM. Reinaud et Favé, en les engageant à faire précéder le volume suivant d'un travail analogue qui, du reste, entre leurs mains, aura tout le mérite de l'originalité.

Il est constant que, dès le temps de l'empereur Koung-Ming, c'est-à-dire 200 ans avant Jésus-Christ, les Chinois se servaient avec succès de plusieurs moyens incendiaires appelés *ruche d'abeilles, feu du ciel, flèche à feu, tonnerre de la terre, feu dévorant, tuyau à feu*, etc. Suivant les historiens chinois, Koung-Ming ne les avait pas même inventés; il les avait pris dans les ouvrages d'une époque plus reculée que la sienne. Comme tous les arts, chez les Chinois, celui des artifices de guerre resta longtemps stationnaire. Vers la fin du XIe siècle, d'après le témoignage des historiens chinois, cet art passa aux Tartares, entre les mains desquels il ne fit non plus aucun progrès. Ce fut seulement à l'époque de la conquête de la Chine par les Mongols, au XIIIe siècle, qu'on y introduisit quelques perfectionnements dus, en grande partie, à des ingénieurs arabes ou européens; et il paraît certain que ces ingénieurs avaient, dans l'origine, emprunté directement leurs connaissances sur cette matière aux Chinois eux-mêmes.

Longtemps avant cette époque, c'est-à-dire l'an 673,

Callinique apporta d'Orient à Constantinople le moyen de guerre célèbre connu depuis sous le nom de *feu grégeois*, qui fit gagner tant de batailles aux Grecs du Bas-Empire. On cachait dans le principe, avec le plus grand soin, la composition de ce feu, et l'on menaçait des peines les plus terribles ceux qui se permettaient d'en trahir le secret; mais les machines dont on se servait pour lancer le feu grégeois, et dont nous trouvons la description dans les *Tactiques* de l'empereur Léon VI, dans Anne Comnène et dans Luitprand, présentent tant d'analogie avec celle des machines employées pour le même but chez les Chinois, et, plus tard, chez les Arabes, qu'on est naturellement porté à soupçonner une origine commune. En outre, le Traité intitulé: *Liber ignium ad comburendos hostes*, attribué à un auteur inconnu d'ailleurs, appelé *Marcus Græcus*, et qui paraît avoir écrit entre le IXe et le XIIe siècle, contient la composition des moyens incendiaires employés par les Grecs; cette composition tend précisément à confirmer entièrement cette origine commune.

On connaît, par les historiens des croisadss, la profonde terreur qu'inspirèrent aux chrétiens les moyens incendiaires dont les Arabes se servaient pour les combattre. Or, le point important pour le sujet qui nous occupe, est de déterminer si les Arabes ont emprunté ces moyens aux Grecs ou aux Chinois. Remarquons d'abord que ce sont seulement les historiens occidentaux des croisades qui donnent à ces moyens le nom de *feu grégeois*, tandis que Hassan-Alramman, auteur arabe d'un Traité de pyrotechnie du XIIIe siècle, dont M. Reinaud nous a révélé l'existence, n'emploie jamais cette dénomination; il se sert, au contraire, des expressions suivantes: *roue de la Chine*, *fleur de la Chine*, *lance avec la flèche de la Chine*, etc., expressions qui révèlent une origine chinoise. Si l'on considère en outre que, dès les VIIIe et IXe siècles de notre ère, les Arabes avaient des relations fréquentes et suivies avec les Chinois, on

restera convaincu qu'ils leur doivent originairement les connaissances pyrotechniques qu'ils possédaient.

On ne sait pas au juste à quelle époque l'emploi des feux de guerre se répandit dans l'Europe occidentale; soit que les croisés aient fini par emprunter cette connaissance aux Arabes, soit que ce fût la prise de Constantinople, en 1204, qui fit divulguer le secret du feu grégeois, il est constant que les ouvrages d'Albert le Grand et de Roger Bacon contiennent des compositions qui paraissent tirées de l'opuscule de Marcus Græcus, circonstance qui a fait regarder à tort ces deux auteurs comme les inventeurs de la poudre à canon. Roger Bacon nous laisse même entrevoir que ce furent plutôt des scrupules religieux que l'ignorance de la manière de les employer qui empêchèrent les nations de l'Europe occidentale d'en adopter généralement l'usage. Il semble cependant que ces scrupules disparurent peu à peu; car, dans Froissard, on retrouve déjà le feu grégeois, et tous les auteurs de pyrotechnie ou d'artillerie qui ont écrit avant que l'usage de la poudre à canon fût devenu général, ou après cette époque, jusque dans la première moitié du XVIIe siècle, décrivent, sous le nom de *feu grégeois,* ou sous des noms analogues, des compositions qui offrent une ressemblance frappante avec les recettes de Marcus Græcus. Nous croyons que ces données suffisent pour prouver la vraisemblance de l'opinion que le secret du feu grégeois n'a pas été perdu, qu'il s'est au contraire propagé en Occident, qu'avec le temps il a seulement changé de nom, et qu'enfin l'usage en a été considérablement restreint par l'invention d'autres moyens plus efficaces.

On nous demandera peut-être ce que tous ces moyens incendiaires, dont nous venons de parler, avaient de commun avec la poudre à canon? pourquoi les auteurs de ce livre ont-ils plutôt fait des recherches sur les matières incendiaires des Chinois, des Arabes et des Grecs du Bas-Empire,

que sur celles dont parlent quelques auteurs anciens, comme Thucydide, Æneas le tacticien, Végèce et Ammien-Marcellin ? La réponse à ces questions est facile : la base des compositions des premiers était le salpêtre, auquel on ajoutait ordinairement du soufre, du charbon, et quelquefois d'autres matières encore; elles se rapprochaient par conséquent beaucoup de la poudre à canon. Leurs effets tenaient à la propriété qu'a le salpêtre de détoner ou de fuser, mais surtout à la seconde de ces qualités, tandis que les feux des anciens étaient formés d'éléments tout à fait différents; car les Grecs et les Romains ignoraient entièrement la propriété fusible du salpêtre, substance qu'ils connaissaient à peine, ou que du moins ils ne distinguaient que très-imparfaitement de quelques autres matières salines ou alcalines. Ainsi, pour arriver du feu grégeois ou des compositions analogues à la poudre à canon, il ne restait plus qu'à savoir maîtriser la détonation du salpêtre qu'on regardait primitivement comme un accident fâcheux, et à s'en servir comme force propulsive. Mais quand ce pas a-t-il été fait? quelles circonstances ont retardé si longtemps l'accomplissement de ce progrès? M. Favé, qui se propose de traiter à fond, dans son second volume, la question de savoir à quelle époque précise a été inventée la poudre à canon, ne fait qu'indiquer ici son opinion sur celles que je viens de poser; il pense que ce fut dans les contrées méridionales de l'Europe, surtout en Hongrie et dans les pays voisins, que l'on commença à se servir de la poudre. Il base cette conjecture sur ce que, dans un manuscrit latin, n° 7239 de la Bibliothèque royale, il est question de l'emploi de la poudre dans les mines. Ce manuscrit, qui est venu du sérail de Constantinople en France, en 1687, par les soins de M. Gérardin, ambassadeur à la Porte, contient entre autres choses un Traité sur les machines de guerre. La première feuille de ce Traité est une carte de géographie. M. Favé démontre, à l'aide d'un raisonnement solide et ingénieux, que cette carte doit nécessairement avoir été faite

vers l'an 1395 à 1396, et il conclut de là que tout le Traité a été composé vers ce temps. Cette conclusion n'est pas tout à fait légitime; car, alors même que la carte et le Traité seraient écrits de la même main, il ne s'ensuivrait pas qu'ils sont du même auteur et de la même époque. M. Favé eût rendu la conjecture beaucoup plus vraisemblable, s'il n'eût pris en considération que le caractère de l'écriture. En effet, autant qu'il est possible d'en juger par les *fac-simile* qui se trouvent dans l'atlas, ce manuscrit ne paraît pas remonter au delà du XIVe siècle.

La raison qui a empêché les Chinois, les Arabes et les Grecs de découvrir l'usage de la poudre à canon, comme moyen de propulsion, tient probablement à l'impureté du salpêtre dont ils se servaient, et peut-être aussi à la manière imparfaite dont ils mélangeaient les divers éléments de leurs compositions incendiaires. Il en devait nécessairement résulter que la même proportion de salpêtre, de charbon et de soufre qui nous fournit un composé détonant, ne produisit entre leurs mains qu'une matière fusante. Il paraît, du reste, que la manière de traiter convenablement le salpêtre a été mise en pratique par des artificiers assez longtemps avant qu'elle ne fût connue des chimistes. Ainsi, d'une part, un Recueil intitulé : *Livre de canonerie et artifices à feu,* publié en 1561, à Paris, contient des Traités d'une date plus ancienne, et dans lesquels on trouve la description d'une méthode très-rationnelle de raffiner le salpêtre; d'un autre côté, B.-G. Pénot, alchimiste du XVIe siècle, en donne une beaucoup plus défectueuse (*De vera preparatione et usu medic. chim.,* etc.).

C'est sans doute par inadvertance que M. Favé a cru pouvoir arguer de ce même ouvrage de Pénot qu'on ne doit pas regarder les alchimistes comme les inventeurs de la poudre à canon, puisque cet auteur vivait environ 200 ans après l'invention de la poudre. On me permettra encore une dernière critique : si M. Favé avait mis plus d'exactitude à dé-

terminer le temps où vécurent les auteurs qu'il cite sous la rubrique générale de *chimistes du moyen âge*, il aurait pu lui-même résoudre la question de savoir si le mot *nitre* avait, dès le XIIe siècle, acquis, dans le langage scientifique, la valeur qu'il a aujourd'hui (*Cf*, p. 95 et 96) ; car il cite lui-même (p. 130) un passage du Traité alchimique appelé : *Turba philosophorum*, où le mot nitre se trouve dans le sens moderne. Or, la *Turba philosophorum* ne saurait être plus récente que le XIIe siècle, puisqu'elle est citée dans un Traité alchimique d'Alain, évêque d'Auxerre, qui vivait dans ce siècle même.

Comme on le voit, l'ouvrage de MM. Favé et Reinaud ne contient pas seulement des renseignements nouveaux et précieux pour ceux qui s'occupent de la guerre au point de vue historique, mais il intéresse particulièrement aussi ceux qui ne dédaignent pas l'histoire si compliquée et si obscure de la chimie et de l'alchimie ; on remarquera particulièrement la biographie de l'alchimiste Morienus, et celle du fameux chimiste Djâber ou Geber, qu'on avait jusqu'ici confondu, très-souvent, avec l'iman Djâfar qui vivait vers le même temps, et qui s'occupait également de chimie.

Nous souhaitons que le travail de MM. Favé et Reinaud excite l'émulation des chimistes érudits, et soit, pour ainsi dire, la première pierre d'une histoire de la chimie faite d'après l'étude consciencieuse et constante des sources originales. Nous connaissons et nous apprécions le livre de M. Hœfer ; mais ce travail, nous devons le dire, est encore loin de présenter le tableau fidèle du développement intérieur et extérieur de la science, bien qu'il renferme des détails nouveaux sur certaines questions qui regardent l'origine de la chimie et de l'alchimie.

NOUVELLES RECHERCHES

Sur l'acide hippurique, l'acide benzoïque et le sucre de gélatine;

PAR M. DESSAIGNES.

(Extrait d'une Lettre à M. DUMAS.)

. . . L'acide hippurique a déjà été le sujet de bien des recherches; néanmoins ses métamorphoses, déjà si intéressantes, laissaient quelque chose à glaner à ceux qui les étudieraient. Dissous dans l'acide chlorhydrique bouillant, l'acide hippurique, comme l'a vu M. Liebig, cristallise par le refroidissement et sans altération; mais si l'on prolonge davantage l'ébullition, une demi-heure environ, il en est tout autrement: il est décomposé, et donne, comme je m'en suis assuré, une quantité d'acide benzoïque égale, sauf une perte légère, à celle qu'indique la théorie. L'acide benzoïque a été séparé sur un filtre, et la liqueur filtrée et évaporée a donné de longs cristaux prismatiques, acides, azotés, et dans la composition desquels l'acide chlorhydrique entre comme partie constituante. Ces cristaux ont été neutralisés par le carbonate de soude ou le carbonate de plomb, et, après avoir écarté de la dissolution les chlorures sodique ou plombique, j'ai obtenu de nouveaux cristaux d'une matière très-sucrée et azotée, neutre aux réactifs formant des combinaisons cristallines avec l'oxyde d'argent, avec les acides nitrique, sulfurique, oxalique. Je n'ai pas tardé à m'apercevoir que j'avais ainsi produit, par une métamorphose que l'on aurait pu prévoir, le sucre de gélatine découvert par M. Braconnot.

En effet, de.............	$C^{18}H^{18}N^{2}O^{6}$
Si l'on retranche.........	$C^{14}H^{12}\ \ O^{4}$
On obtient..............	$C^{4}H^{6}N^{2}O^{2}$ (*)

(*) $C = 150$; $H = 6,25$, $N = 175$.

auquel il suffit d'ajouter 1 ½ équivalent d'eau pour obtenir le ½ équivalent de sucre de gélatine, d'après MM. Mulder et Boussingault. Je serais plus porté à croire qu'au reste $C^4H^6N^2O^2$ il faut ajouter 2 équivalents d'eau, et que le véritable équivalent du sucre de gélatine est $C^4H^{10}N^2O^2$, comme l'a indiqué M. Gerhardt; mais je n'ai pas encore de preuve à apporter en faveur de cette manière de voir.

Toutes les réactions et les cristallisations très-belles et très-nettes que j'ai obtenues avec la matière sucrée et azotée provenant de l'acide hippurique, et que j'ai comparées aux réactions et aux cristallisations correspondantes du sucre de gélatine préparé avec la colle, m'ont convaincu de l'identité de ces deux corps; mais je sens que, pour faire partager ma conviction aux chimistes, il faut analyser le sucre de l'acide hippurique, et c'est ce dont je vais m'occuper. La métamorphose qui donne naissance à ce corps est très-nette; il ne se dégage pas de gaz dans la réaction; les deux seuls produits sont l'acide benzoïque et le chlorhydrate de sucre. Sur 100 d'acide hippurique sec, j'ai obtenu

Acide benzoïque sec...........................	67,49
Chlorhydrate de sucre séché sur l'acide sulfurique.	59,08
	126,57

L'acide nitrique, après vingt minutes d'ébullition, transforme l'acide hippurique en acide benzoïque, comme on le savait, et en nitrate de sucre ou acide nitrosaccharique, qui cristallise en magnifiques tables tronquées. L'acide nitrosaccharique préparé avec le sucre venant de la colle m'a donné absolument les mêmes cristaux. Je n'ai pas recueilli de gaz dans cette réaction.

L'acide sulfurique étendu de deux fois son volume d'eau opère également la métamorphose de l'acide hippurique sans dégagement de gaz et sans que la liqueur se colore. On obtient l'acide benzoïque très-facile à purifier, et une

combinaison d'où l'on peut facilement, par la craie ou le carbonate de plomb, retirer du sucre de gélatine.

J'ai combiné équivalent à équivalent l'acide sulfurique So^3H^2O et le sucre que j'avais obtenu de l'acide hippurique en donnant à ce dernier équivalent pour formule

$$C^4H^{10}N^2O^4,$$

et j'ai obtenu une dissolution qui a cristallisé en gros prismes d'un grand éclat et jusqu'à la dernière goutte.

L'acide oxalique lui-même, bouilli pendant deux heures en dissolution très-concentrée avec l'acide hippurique, le convertit en acide benzoïque et en oxalate de sucre qui cristallise en beaux prismes. Enfin un excès de potasse ou de soude, après une ébullition d'une demi-heure, décompose également l'acide hippurique en benzoate alcalin, et en sucre que j'ai obtenu sous forme de chlorhydrate, après avoir traité le mélange de benzoate et de sucre par l'acide chlorhydrique.

Comme on le voit, l'acide hippurique ressemble par ces réactions aux acides amidés, en ce que l'ébullition avec les acides ou les alcalis lui restitue les éléments de l'eau, et le sépare en un acide et une base azotée qui remplace ici l'ammoniaque. Je dois dire que je n'ai pu encore combiner l'acide benzoïque et le sucre de gélatine, ni par conséquent reproduire l'acide hippurique en faisant perdre les éléments de l'eau au benzoate de sucre. Le sucre de gélatine se combine, comme on l'a vu, avec tous les acides forts, et forme des corps acides bien déterminés qui eux-mêmes se combinent en oxydes métalliques, et donnent des sels analogues aux sels doubles d'urée récemment étudiés par M. Werther. J'ai déjà préparé un certain nombre de ces sels, il me reste à les étudier et à les analyser. L'analogie évidente de l'urée et du sucre de gélatine fait sentir combien cette dernière dénomination est impropre : le sucre que j'ai obtenu, comme l'urée, a des réactions neutres;

néanmoins il se combine avec une grande facilité aux acides; ces comblnaisons, comme les sels à base d'alcaloïdes, tendent à faire fonction d'acides, et se combinent aux bases métalliques. Le sucre de gélatine a plus de stabilité que l'urée, il est néanmoins attaqué par l'action prolongée des acides. Je chercherai si l'on ne pourrait pas obtenir par ce moyen une transformation qui éclairât sur sa constitution.

Sur un nouveau mode de séparation du cobalt d'avec le manganèse;

PAR M. CH. BARRESWIL.

On lit, dans le *Tratié d'Analyse chimique* de M. H. Rose, que les sels de cobalt, dont l'acide n'est pas au nombre des plus faibles, sont précipités incomplétement par l'hydrogène sulfuré, tandis que les sels de manganèse ne le sont pas du tout. C'est sur cette observation qu'est fondé le nouveau mode de séparation des deux métaux.

De ce que le cobalt n'est pas précipité de ses dissolutions acides par l'hydrogène sulfuré, on conçoit qu'il ne puisse être précipité qu'incomplétement dans les dissolutions neutres, et l'on est amené nécessairement à conclure que si l'on pouvait neutraliser la liqueur à mesure qu'elle est rendue acide par la précipitation du cobalt, on aurait une élimination complète de ce métal.

Guidé par cette réflexion très-simple, j'ai cherché quelle substance se prêterait à cette réaction; après plusieurs tentatives, j'ai donné la préférence au carbonate de baryte artificiel pur qui est facilement attaquable par les acides, mais ne l'est pas par l'hydrogène sulfuré, ce qui était une condition indispensable, attendu que, s'il en eût été autrement, il se serait formé du sulfure de barium qui, on le sait très-bien, précipite le manganèse; j'ajoute que le car-

bonate de baryte, ainsi que l'a prouvé M. Demarçay, ne précipite pas les dissolutions manganiques, et que la baryte est d'une élimination facile à l'aide de l'acide sulfurique, soit de la dissolution, soit du précipité où le carbonate de baryte est en excès.

La manière d'opérer est des plus simples; à la dissolution du cobalt et du manganèse on ajoute un grand excès de carbonate de baryte, et l'on fait passer à travers le mélange de l'hydrogène sulfuré à refus; on jette le tout sur un filtre qui retient le cobalt à l'état de sulfure, tandis que le manganèse reste dans la dissolution; on continue l'analyse à la manière ordinaire.

J'espère que ce nouveau mode d'emploi de l'hydrogène sulfuré sera applicable à la séparation quantitative d'autres métaux, tels que le fer, le zinc, le nickel, etc., et deviendra d'un usage fréquent dans l'analyse qualitative; on peut, en effet, maintenant séparer les métaux à l'aide de l'hydrogène sulfuré en trois séries: en opérant successivement dans une dissolution acide, puis dans une dissolution neutre, enfin dans une dissolution alcaline.

MÉMOIRE

Sur de nouvelles combinaisons de l'acide borique avec les éthers, et sur l'éther sulfureux;

PAR MM. EBELMEN ET BOUQUET.

(Lu à l'Académie des Sciences, dans sa séance du 2 mars 1846.)

L'un de nous a fait connaître, il y a peu de temps, l'existence de combinaisons de l'acide borique avec divers corps de la classe des éthers. Ces combinaisons, obtenues par l'action directe de l'acide borique anhydre sur les alcools, renferment six fois plus d'oxygène dans l'acide que dans

la base, et correspondent, par leur composition, au borax privé de toute son eau par la fusion. Dans les éthers siliciques, les rapports entre l'oxygène de l'acide et l'oxygène de la base sont représentés par les nombres 1, 2, 4, et aucune de ces combinaisons ne se rapprochait des éthers boriques, contrairement à ce qu'on aurait pu attendre des analogies si marquées qui existent entre le bore et le silicium. Le travail que nous avons l'honneur de mettre sous les yeux de l'Académie a eu pour but de rechercher si des réactions analogues à celles qui avaient fourni les éthers siliciques ne donneraient pas lieu à des combinaisons boriques correspondantes. Les résultats que nous avons obtenus, en faisant agir le chlorure de bore sur l'alcool, l'esprit-de-bois, l'huile de pommes de terre, sont tous d'une grande netteté.

Nous avons obtenu le chlorure de bore en faisant passer un courant de chlore sec sur un mélange d'acide borique et de charbon chauffé au rouge dans un tube de porcelaine. On obtient ainsi, comme M. Dumas l'a montré, du chlorure de bore et de l'oxyde de carbone qui se dégagent simultanément. De nombreuses expériences nous ont montré que ces gaz ne renfermaient du chlore libre qu'après plusieurs heures de marche de l'appareil. Une allonge recourbée amenait directement le mélange gazeux dans un flacon aux deux tiers rempli de la liqueur alcoolique soumise à l'expérience. Nous allons indiquer séparément ce qui se passe pour chacun des trois alcools sur lesquels nous avons opéré.

Protoborate éthylique.

L'alcool absolu absorbe une grande quantité de chlorure de bore. La liqueur s'échauffe, et le flacon qui la contient doit être plongé dans l'eau froide. Au bout d'un certain temps, qui dépend du volume de l'alcool, et de la rapidité du courant de gaz, la liqueur se sépare en deux couches. La

couche supérieure, qui renferme seule le nouveau produit, est limpide et incolore. La couche inférieure est colorée en jaune, c'est de l'alcool fortement chargé d'acide chlorhydrique. A partir du moment où la séparation du liquide en deux couches s'est effectuée, les gaz que l'on continue à y faire passer entraînent une grande quantité d'acide chlorhydrique. On interrompt l'opération quand on soupçonne la présence du chlore dans les produits gazeux.

En décantant la couche supérieure, et la soumettant à la distillation, après y avoir ajouté quelques gouttes d'alcool absolu, on voit d'abord passer un peu d'alcool très-acide, puis la température d'ébullition s'élève rapidement. A 115 degrés on change de récipient, et l'on recueille à part, entre 115 et 125 degrés, un produit très-abondant qui représente la presque totalité du liquide employé. Il reste dans la cornue un produit d'apparence vitreuse, sur lequel nous dirons quelques mots tout à l'heure. Une rectification du liquide distillé entre 115 et 125 degrés fournit un produit neutre dont le point d'ébullition reste fixe à 119 degrés.

Ce nouveau composé est un liquide très-mobile, tout à fait incolore, ayant une odeur particulière assez agréable, une saveur chaude et amère. Sa densité, prise à 0 degré, avec l'appareil de M. Regnault, a été trouvée de 0,8849. Il se dissout immédiatement dans l'eau; mais au bout de quelques instants, la liqueur dépose de l'acide borique. Il se dissout en toutes proportions dans l'alcool. L'air humide le change en acide borique hydraté. Il brûle au contact d'un corps en combustion, avec une belle flamme verte accompagnée de fumées épaisses d'acide borique, mais sans laisser de résidu solide.

Analyse.—L'acide borique a été déterminé en traitant l'éther par l'ammoniaque, évaporant à sec, et calcinant le borate d'ammoniaque :

I. $0^{gr},925$ d'éther borique ont laissé 0,207 d'acide borique fondu.

II. $1^{gr},427$ d'éther borique ont laissé 0,320 d'acide borique fondu.

III. $0^{gr},662$ d'éther borique ont donné 0,626 d'eau et 1,195 d'acide carbonique.

IV. $0^{gr},607$ d'éther borique ont donné 0,566 d'eau et 1,090 d'acide carbonique.

On tire de là :

	I.	II.	III.	IV.	Moyenne.
Acide borique.....	22,38	22,42	"	"	22,40
Carbone..........	"	"	49,23	49,00	49,12
Hydrogène........	"	"	10,50	10,36	10,43

On voit immédiatement que, dans cette combinaison, l'acide borique et l'éther renferment la même quantité d'oxygène; nous la considérerons comme un éther tribasique ayant pour formule

$$BO^3 3C^4H^5O,$$

dont la composition serait:

Acide borique..........	436,2	23,91
Carbone................	900,0	49,35
Hydrogène..............	187,5	10,28
Oxygène................	300,0	16,46
	1823,7	100,00

Les résultats du calcul s'accordent bien avec ceux de l'expérience, à l'exception du dosage de l'acide borique qui se trouve en défaut de $1\frac{1}{2}$ pour 100. Mais on sait que les procédés actuels du dosage de l'acide borique donnent toujours lieu à une perte.

Les résultats de l'analyse ont été contrôlés par la densité de la vapeur de l'éther. Voici les données de l'expérience:

Excès de poids du ballon fermé.....	$0^{gr},797$
Baromètre........................	$0^{m},738$
Température de l'air extérieur......	$18^{o},00$
Température du bain d'huile........	$170^{o},00$
Capacité du ballon................	$281^{cc},00$
Air restant........................	0
Poids du litre de vapeur............	$6^{gr},69$
Densité de la vapeur................	5,14

La densité, calculée d'après la formule que nous avons admise, résulte des nombres suivants :

1 volume de vapeur de bore...	1,506
12 volumes de carbone.........	10,054
30 volumes d'hydrogène.......	2,076
6 volumes d'oxygène..........	6,636

$$\frac{20,272}{4} = 5,068$$

La réaction qui donne naissance au protoborate éthylique est la même que celle d'où dérive le protosilicate éthylique. On a, en effet :

$$BCl^3 + 3C^4H^6O^2 = BO^2 3C^4H^5O + 3HCl,$$
$$SiCl + C^4H^6O^2 = SiO\ C^4H^4O + HCl.$$

Si l'on admettait SiO^3 pour représenter la formule de la silice, les deux formules auraient été tout à fait semblables. Mais il faut remarquer que, dans cette notation, $SiCl^3$ représenterait 3 volumes de chlorure de silicium, tandis que la formule BCl^3 correspond à 4 volumes de chlorure de bore. Cette différence, constatée par M. Dumas, dans le mode de condensation des éléments, se retrouve aussi dans les densités des fluorures de bore et de silicium. Elle se représente également, comme on vient de le voir, avec les éthers borique et silicique, puisque $SiOC^4H^5O$ correspond à 1 volume de vapeur seulement. On voit que, dans l'un et dans l'autre cas, 1 volume de vapeur de chlorure a produit 1 volume de vapeur d'éther.

Autres composés d'acide borique et d'éther.

En décrivant tout à l'heure la préparation du protoborate éthylique, nous avons annoncé qu'il restait dans la cornue, où l'on distille pour la première fois le produit de la réaction du chlorure de bore sur l'alcool, une matière d'aspect vitreux qui devenait solide par refroidissement. Cette substance est transparente; elle possède la même odeur que le protoborate, et une saveur très-amère, ce qui la distingue très-nettement de l'éther borique $(BO^3)^2C^4H^5O$ dont la saveur était brûlante. L'eau décompose ce dernier

beaucoup plus facilement que le produit vitreux dont nous nous occupons :

$0^{gr},585$ de ce produit ont donné 0,318 d'eau et 0,572 d'acide carbonique.

D'où l'on tire :

Carbone.............	26,7
Hydrogène...........	6,0

Le carbone et l'hydrogène se trouvent encore ici sensiblement dans les mêmes proportions que dans l'éther C^4H^5O. Du reste, cette substance réclame un nouvel examen.

Nous avions pensé qu'en distillant le protoborate éthylique avec de l'alcool un peu aqueux, nous arriverions à produire des composés analogues à ceux qu'on obtient par le même moyen avec le protosilicate éthylique, c'est-à-dire des éthers contenant des quantités croissantes d'acide. Nous n'avons pas réussi à les préparer. Le borate éthylique, chauffé avec de l'alcool à 36 degrés, distille tout entier au-dessous de 120 degrés, en laissant dans la cornue un faible résidu d'acide borique.

Protoborate méthylique.

La réaction du chlorure de bore sur l'esprit-de-bois est entièrement comparable à celle qu'il exerce sur l'alcool. Le gaz est absorbé avec production de chaleur, et il faut refroidir avec soin le flacon qui renferme l'esprit-de-bois. Quand les gaz qui se dégagent, après avoir traversé la liqueur, sont très-acides, le liquide se sépare en deux couches : la couche inférieure est brune et très-acide ; la couche supérieure est limpide et incolore, et c'est elle qui contient seule le nouveau produit. On la décante, et on la distille avec un thermomètre placé dans la cornue. On change de récipient quand la température de la distillation devient constante. Les premiers produits contiennent du gaz acide chlorhydrique. Deux rectifications suffisent pour obtenir un produit neutre dont le point d'ébullition reste fixe à 72 degrés.

Si l'on a employé, au lieu d'esprit-de-bois purifié par sa

combinaison avec le chlorure de calcium, de l'esprit-de-bois du commerce simplement rectifié sur de la chaux vive, le liquide traversé par le courant de chlorure de bore se trouve, au bout d'un certain temps, coloré en brun, mais sans se séparer en deux couches vers la fin de l'opération. En distillant avec précaution ce produit fortement chargé de chlorure de bore, et recueillant le liquide qui passe dans un récipient entouré de glace, on voit la séparation en deux couches s'effectuer dans le récipient. On ne doit recueillir que la partie du liquide qui distille au-dessous de 80 degrés. Ce qui reste dans la cornue à cette température est un liquide noir et visqueux qui représente plus de la moitié du produit soumis à la distillation. Quant au liquide recueilli dans le récipient entouré de glace, il se sépare en deux couches. La couche supérieure est limpide et incolore; on la décante et, par des rectifications, on arrive également à obtenir un produit pur.

Le borate méthylique est un liquide incolore, très-mobile, d'une odeur pénétrante, qui rappelle un peu celle de l'esprit-de-bois. Il se mêle à l'eau, et la liqueur laisse déposer bientôt de l'acide borique. Sa densité, à 0 degré, a été trouvée de 0,9551. Son point d'ébullition est à 72 degrés; il brûle sans résidu avec une flamme verte.

Voici les données de l'analyse :

I. 0gr,633 de matière ont donné 0,506 d'eau et 0,811 d'acide carbonique.

II. 0gr,574 de matière ont donné 0,458 d'eau et 0,740 d'acide carbonique.

III. 1gr,473 d'éther traités par l'ammoniaque ont laissé 0,461 d'acide borique fondu.

On tire de là :

	I.	II.	III.	Moyenne.
Acide borique	"	"	31,3	31,3
Hydrogène...........	8,88	8,86	"	8,87
Carbone.............	34,94	35,15	"	35,04

La formule

$$BO^3\,3C^2H^3O$$

donnerait :

Acide borique..........	436,2	33,58
Carbone...............	450,0	34,65
Hydrogène.............	112,5	8,66
Oxygène...............	300,0	23,11
	1298,7	100,00

Ces résultats ont été contrôlés par la détermination de la densité de la vapeur. En voici les éléments :

Excès de poids du ballon fermé..	$0^{gr},299$
Baromètre....................	$0^{m},768$
Température de l'air extérieur..	$11^{o},00$
Température du bain d'huile...	$130^{o},00$
Capacité du ballon.............	$150^{cc},00$
Air restant....................	
Poids du litre de vapeur........	$4^{gr},756$
Densité.......................	3,66

Le calcul donnerait :

1 volume de vapeur de bore....	1,506
6 volumes de carbone.........	5,027
18 volumes d'hydrogène.........	1,245
6 volumes d'oxygène..........	6,636
	14,314

$$\frac{14,314}{4} = 3,603$$

Le mode de condensation des éléments est donc le même ici que dans le cas du protoborate éthylique. 1 volume de chlorure de bore a produit 1 volume de borate méthylique.

Protoborate amylique.

Quand on fait passer du chlorure de bore à travers l'huile de pomme de terre, le liquide ne tarde pas à se séparer en deux couches, et, en même temps, l'acide chlorhydrique commence à se dégager. En décantant la couche supérieure, la distillant, et fractionnant les produits, on voit la presque totalité du liquide passer à la distillation entre 260 et 280 degrés. Ce produit, rectifié, a fourni un liquide dont le point d'ébullition s'est maintenu entre 270 et 275 degrés.

Le borate amylique est un liquide incolore d'apparence huileuse, dont l'odeur faible rappelle l'odeur de l'huile de pomme de terre. La densité, à 0 degré, est de 0,870. L'eau

le décompose, et dissout de l'acide borique ; l'ammoniaque liquide le décompose également. Il brûle avec une flamme blanche dont les bords sont verts, et avec production de fumées d'acide borique.

Analyse.

I. $1^{gr},784$ d'éther traités par l'ammoniaque ont laissé 0,212 d'acide borique fondu.

II. $0^{gr},630$ de matière ont donné 1,514 d'acide carbonique et 0,697 d'eau.

On tire de là :

	I.	II.
Acide borique............	11,9	"
Carbone.................	"	65,6
Hydrogène...............	"	12,3

Ces résultats sont suffisamment d'accord avec ceux qui correspondent à la formule

$$BO^3 3C^{10}H^{11}O,$$

qui donnerait :

BO^3, acide borique.......	426,2	12,8
30C. carbone............	2250,0	66,2
33H. hydrogène..........	412,5	12,1
3O. oxygène............	300,0	8,9
	3398,7	100,0

Nous avons essayé de prendre la densité de vapeur du borate amylique. Voici les données de l'expérience :

Excès de poids du ballon fermé..	$0^{gr},770$
Baromètre.....................	$0^{m},755$
Température de l'air extérieur...	$13^{o},8$
Température du bain d'huile ...	$315^{o},0$
Capacité du ballon.............	$149^{cc},0$
Air restant................	0
Poids du litre de vapeur........	$13^{gr},7$
Densité de la vapeur............	10,55

Le calcul donnerait :

1 volume de vapeur de bore...	1,506
30 volumes de carbone........	25,135
66 volumes d'hydrogène.......	4,561
6 volumes d'oxygène..........	6,636
Densité calculée.............	$\frac{37,838}{4} = 9,45$

La matière restée dans le ballon avait sensiblement bruni, circonstance qui permet d'expliquer la différence notable qui existe entre les résultats de l'expérience et ceux du calcul.

Nous n'avons pu, du reste, faute d'une quantité suffisante de matière, multiplier les analyses du borate amylique autant que nous l'aurions désiré. Mais nous pensons que les résultats qui précèdent, comparés à ceux obtenus par l'analyse des produits correspondants de l'alcool et de l'esprit-de-bois, ne laisseront aucun doute sur la véritable constitution de cet éther.

En rapprochant les résultats des expériences qui précèdent des faits déjà connus sur les combinaisons de l'acide borique avec les éthers, on en conclura que l'acide borique peut former, avec chaque éther simple, au moins deux éthers composés : l'un qui est tribasique et qui renferme autant d'oxygène dans l'acide que dans la base; l'autre qui renferme six fois plus d'acide pour la même quantité de base. Les éthers tribasiques $BO^3, 3C^4H^5O$, $Bo^3, 3C^2H^3O$ ont une constitution comparable à celle de l'acide borique cristallisé $BO^3, 3HO$. L'éther borique $(BO^3)^2, C^4H^5O$ trouve son analogue dans le borax anhydre $(BO^3)^2, NaO$.

En terminant cette partie de notre travail, nous rendrons compte de quelques expériences que nous avons faites sur les divers degrés d'hydratation de l'acide borique.

On trouve, dans la plupart des Traités de chimie, que l'acide borique cristallisé s'effleurit et perd la moitié de son eau à la température de 100 degrés. Nous n'avons pas vérifié ce fait, mais nous avons constaté qu'une exposition prolongée à la température de 160 degrés change l'acide borique cristallisé en un corps bien fondu, d'apparence vitreuse, parfaitement homogène, qui retient la sixième partie de l'eau contenue dans l'acide cristallisé. C'est un hydrate

$(BO^3)^2$, HO qui correspond au borax anhydre par sa composition. Quand on le chauffe à une température plus élevée, il se transforme en acide anhydre en se boursouflant beaucoup, et le dégagement de la vapeur d'eau est accompagné de fumées très-sensibles d'acide borique. Une fois que l'acide est déshydraté complétement, on peut le laisser pendant longtemps en fusion dans le creuset sans perte notable.

$2^{gr},738$ d'acide borique cristallisé ont été chauffés au bain d'huile dans un courant d'air sec, à une température qui a été maintenue pendant neuf heures entre 150 et 160 degrés. On a considéré l'opération comme terminée quand deux pesées consécutives de l'appareil de dessiccation, faites à deux heures d'intervalle, ont donné des résultats qui ne différaient plus sensiblement. La perte en eau a été de $0^{gr},979$ on 35,7 pour 100. La matière était fondue, transparente et à cassure vitreuse. L'acide borique cristallisé contenant 43,6 pour 100 d'eau, on voit que la perte, à 150 degrés, a été très-exactement les cinq sixièmes de cette quantité d'eau totale.

Au commencement de la dessiccation, la vapeur d'eau a entraîné une quantité notable d'acide borique qui est venue cristalliser dans la partie de l'appareil qui se trouvait hors du bain d'huile. Cette petite quantité de matière a été détachée et réunie au reste du produit. La volatilisation de l'acide borique a été nulle pendant tout le reste de la dessiccation.

$1^{gr},369$ du produit fondu à 160 degrés, ayant été rougis dans un creuset de platine, ont laissé de l'acide borique anhydre qui pesait $1^{gr},193$. Il y a eu boursouflement et production de fumées d'acide borique. D'après cette expérience, la substance analysée contient :

Acide borique..........	87,4
Eau....................	12,6
	100,0

La formule

$$(BO^3)^2 HO$$

exige :

Acide borique	88,6
Eau	11,4
	100,0

Plusieurs calcinations, faites sur des produits desséchés à l'étuve entre 160 et 180 degrés, ont constamment donné de 13 à 14 pour 100 d'eau. La différence entre ces résultats et ceux du calcul est bien probablement due à l'entraînement de l'acide borique par la vapeur d'eau. Il est remarquable de voir cet hydrate affecter l'état vitreux, comme le borax fondu, comme les éthers boriques qui lui correspondent.

La volatilité très-sensible de l'acide borique cristallisé dans la vapeur d'eau nous semble établir clairement que l'eau contenue dans cet hydrate s'y trouve à l'état d'eau basique. Ce borate d'eau correspond aux éthers boriques que nous avons examinés dans ce Mémoire.

Les borates métalliques ont été trop peu examinés jusqu'à présent pour que nous puissions retrouver avec certitude, dans ces combinaisons, des groupements moléculaires correspondants à l'acide borique cristallisé. Les borates préparés par voie humide contiennent tous six fois ou trois fois plus d'oxygène dans l'acide que dans la base fixe. Dans la boracite, il y a quatre fois plus d'oxygène dans l'acide borique que dans la magnésie. Mais, par la voie sèche, on peut obtenir des combinaisons beaucoup plus basiques. De curieuses expériences, dues à M. Berthier, et dont il a consigné les résultats dans son *Traité des Essais par la voie sèche*, ont montré que l'acide borique donnait avec diverses bases comme la chaux, la baryte, la magnésie, le protoxyde de manganèse, des combinaisons qui cristallisaient par refroidissement après avoir été soumises à de très-hautes températures. Les borates de magnésie et de protoxyde de magnésie,

représentés par les formules $BO^3 6MgO$, $BO^3 6MnO$, paraissent avoir une tendance particulière à cristalliser par voie sèche. On voit que ces sels contiennent encore deux fois plus de base que les éthers composés dont nous nous sommes occupés dans ce travail.

L'acide borique paraît donc présenter, dans sa capacité de saturation, des variations analogues à celles que l'on a constatées déjà pour l'acide phosphorique et la silice. La faculté que possède le borax fondu de dissoudre si facilement les oxydes métalliques montre bien que, dans ce composé, l'acide borique est loin d'être saturé de base. Dans les verres, où la proportion d'oxygène contenue dans la silice est quatre, cinq ou six fois plus considérable que dans toutes les bases réunies, on observe la même propriété dissolvante. On la retrouve encore dans les phosphates à un seul équivalent de base fixe, et tous les jours on utilise cette propriété dans les recherches minéralogiques, quand on se sert du sel de phosphore dans les essais du chalumeau. Ces trois séries de composés vitreux, les phosphates monobasiques, les silicates, les borates, se rapprochent les unes des autres par cette propriété qu'ils possèdent de dissoudre par voie sèche de grandes quantités d'oxydes métalliques, propriété en rapport avec des variations dans leur capacité de saturation.

Éther sulfureux. — On obtient ce produit en faisant réagir le chlorure de soufre sur l'alcool absolu.

Quand on verse de l'alcool absolu sur du protochlorure de soufre, il y a production de chaleur, dégagement abondant d'acide chlorhydrique et dépôt de soufre. On introduit de l'alcool jusqu'à ce que toute réaction ait cessé, puis on distille le mélange; on voit d'abord passer, vers 80 degrés, un produit abondant qui n'est que de l'alcool contenant beaucoup d'acide chlorhydrique; la température du liquide s'élève ensuite rapidement; il s'éclaircit par la fusion du soufre qu'il tenait en suspension, se colore en brun rouge, et abandonne, entre 150 et 170 degrés, un produit que l'on

recueille à part. Il reste dans la cornue un dépôt considérable de soufre fondu.

Le liquide, distillé entre 150 et 170 degrés ayant été rectifié deux fois, a fourni un produit limpide et incolore, d'une odeur éthérée particulière un peu analogue à celle de la menthe, d'une saveur fraîche d'abord, brûlante ensuite, et qui laisse un arrière-goût sulfureux. Son point d'ébullition reste fixé à 160 degrés.

La densité de l'éther sulfureux est de 1,085 à 16 degrés et à 0 degré, d'après M. Pierre, de 1,106. Il est soluble en toutes proportions dans l'alcool. L'eau précipite ces dissolutions et ne redissout le dépôt que très-lentement en exhalant l'odeur de l'acide sulfureux. L'éther, préparé depuis quelque temps et conservé dans des flacons mal bouchés, éprouve aussi une décomposition analogue de la part de l'air humide. Une solution alcoolique de potasse le dissout très-rapidement. La liqueur, étendue d'eau, ne donne plus de précipité, et quand on la sature avec de l'acide chlorhydrique, elle produit une odeur très-forte d'acide sulfureux.

L'éther sulfureux ne brûle au contact d'un corps en combustion, qu'autant qu'il a été préalablement chauffé. Sa flamme est bleuâtre et accompagnée d'une forte odeur sulfureuse.

Analyse. — Pour déterminer le soufre, nous avons dissous un poids connu d'éther dans une solution alcoolique de potasse bien exempte d'acide sulfurique. La liqueur a été étendue d'eau, bouillie pour chasser l'alcool, puis saturée avec du chlore qui a dû changer l'acide sulfureux en acide sulfurique. La liqueur a été rendue acide par de l'acide chlorhydrique, puis précipitée par le chlorure de barium.

L'hydrogène et le carbone ont été déterminés par le procédé ordinaire. Une colonne de 20 centimètres de longueur de litharge avait été placée à l'entrée du tube à combustion, pour éviter qu'une partie du soufre ne fût entraînée.

I. 1gr,310 d'éther ont donné 2,192 de sulfate de baryte.

II. 0gr,418 d'éther ont donné 0,283 d'eau et 0,528 d'acide carbonique.

III. 0gr,547 d'éther ont donné 0,381 d'eau et 0,691 d'acide carbonique.

On tire de là :

(C = 75, H = 12,5, S = 200).

	I.	II.	III.	Moyenne.
Soufre..........	23,08	"	"	23,08
Carbone........	"	34,45	34,46	34,46
Hydrogène......	"	7,51	7,73	7,62
Oxygène........	"	"	"	34,84
				100,00

La formule

$SO^2C^4H^5O$

donnerait :

Soufre...........	23,18	200,0
Carbone.........	34,77	300,0
Hydrogène.......	7,28	62,5
Oxygène.........	34,77	300,0
	100,00	862,5

Ces résultats ont été contrôlés par la détermination de la densité de la vapeur. Voici les données de l'expérience :

Excès de poids du ballon fermé....	0gr,840
Baromètre......................	752m,5
Température de l'air extérieur.....	20°,0
Température du bain d'huile......	201°,0
Capacité du ballon..............	359cc,0
Air restant......................	0cc,5
Poids du litre de vapeur..........	6gr,21
Densité de la vapeur.............	4,78

Le calcul donne :

2 volumes d'acide sulfureux.....	4,424
4 volumes de vapeur de carbone..	3,318
10 volumes d'hydrogène..........	0,691
1 volume d'oxygène............	1,106
	9,539

$$\frac{9,539}{2} = 4,769$$

La formule

$SO^2C^4H^5O$

représente donc 2 volumes de vapeur, de même que celle de l'éther carbonique $CO^2C^4H^5O$. Il est à remarquer que

l'acide carbonique et l'acide sulfureux ont aussi la même formule et contiennent tous les deux un volume d'oxygène égal au leur.

Action du chlore sur l'éther sulfureux.

L'éther sulfureux est vivement attaqué par le chlore, même à la lumière diffuse. L'action ne se termine qu'à la lumière solaire; sous l'influence d'une forte insolation, on voit se développer dans le liquide qui se trouve au fond des flacons de chlore, des cristaux sous forme de larges lamelles qui se dissolvent quand le liquide s'échauffe, et reparaissent par le refroidissement. Le liquide qui surnage les cristaux quand la réaction est terminée est incolore, très-acide, très-fumant à l'air, et possède une odeur suffocante.

Les cristaux ont été séparés par décantation de la partie liquide, lavés avec de l'eau, et séchés par compression entre des feuilles de papier sans colle. Il était facile de les reconnaître, à leur forme, à leur odeur, à leur volatilité, pour du sesquichlorure de carbone de Faraday. Leur analyse a confirmé cette prévision :

I. $0^{gr},283$ de matière ont donné 1,028 de chlorure d'argent.
II. $1^{gr},135$ de matière ont donné 0,010 d'eau et 0,420 d'acide carbonique.

Ce qui donne :

		Calcul sur C^4Cl^6.
Chlore............	89,6	89,85
Carbone...........	10,1	10,15
Hydrogène.........	0,1	"
	99,8	100,00

Examen de la partie liquide. — La liqueur, soumise à la distillation, commence à bouillir au-dessous de 100 degrés; elle donne des produits liquides incolores très-fumants, un sublimé de perchlorure de carbone; mais le point d'ébullition s'élève constamment, et la liqueur noircit quand on arrive à 160 ou 170 degrés, en donnant à la distillation des produits

également colorés. Le liquide chloré paraît donc se comporter, sous l'influence de la chaleur, comme un mélange plutôt que comme un composé défini.

Si l'on fait traverser le liquide chloré par un courant d'air desséché par du chlorure de calcium, et si l'on fait passer l'air, saturé de la vapeur de ce liquide à la température ordinaire, dans de l'eau, celle-ci prend une forte réaction acide, et précipite abondamment par le nitrate d'argent et par les sels de baryte. Le liquide, examiné, renferme donc un produit volatil à la température ordinaire, qui, par l'eau, se décompose en acides sulfurique et chlorhydrique.

Si l'on traite le liquide chloré par de l'eau, il tombe au fond; une réaction assez vive se manifeste : la liqueur s'échauffe, et une ébullition très-notable a lieu dans le liquide huileux; mais on voit que les bulles de gaz disparaissent dans l'eau avant d'arriver à la surface. La liqueur aqueuse donne un précipité considérable par les sels de baryte et d'argent : au bout de quelque temps, toute réaction semble cesser. Le liquide huileux qui reste au fond du vase ayant été lavé à plusieurs reprises à l'eau distillée, nous avons obtenu une liqueur de lavage qui ne se troublait plus sensiblement par le chlorure de barium. A partir de ce moment, nous avons laissé le produit huileux en contact avec l'eau, qui a fini par le dissoudre, mais avec une très-grande lenteur, et en laissant un résidu de sesquichlorure de carbone. La liqueur aqueuse, résultant de la dissolution du produit huileux, se troublait à peine par le nitrate de baryte, mais précipitait encore abondamment par le nitrate d'argent. En l'évaporant dans le vide sur de l'acide sulfurique et de la potasse, on a obtenu un corps cristallisé en larges lamelles, et qu'il était facile de reconnaître pour de l'acide chloracétique aux caractères suivants : ces cristaux disparaissent lentement dans le vide sec; ils sont déliquescents à l'air humide : en y ajoutant quelques gouttes de carbonate de potasse, et évaporant

la liqueur, on obtient un sel cristallisé en longues fibres, qui se décompose par la chaleur avec une légère explosion, en laissant un résidu de chlorure de potassium et dégageant une odeur de phosgène. Bouilli avec un excès d'alcali, il produit une liqueur qui donne, avec le bioxyde de mercure, les réactions caractéristiques des formiates.

Le liquide huileux brut, provenant de l'action du chlore sur l'éther sulfureux, se comporte donc avec l'eau comme un mélange d'acide chlorosulfurique, SO^2Cl, d'aldéhyde perchloré et de perchlorure de carbone. On sait, en effet, que l'acide chlorosulfurique de M. Regnault se décompose très-facilement dans l'eau en acides sulfurique et chlorhydrique, et que l'aldéhyde perchloré s'y dissout très-lentement en donnant de l'acide chlorhydrique et de l'acide chloracétique.

Les autres réactions que présente le produit chloré sont bien d'accord avec la conclusion que nous venons de présenter.

Le produit chloré se dissout dans l'alcool absolu avec un vif dégagement de chaleur. La dissolution, étendue d'eau, laisse déposer un produit huileux, d'une odeur assez aromatique, qui est sans doute de l'éther chloracétique. La liqueur aqueuse ne se trouble que très-faiblement par les sels de baryte (1).

Le produit chloré, auquel on a enlevé par des lavages à l'eau distillée l'acide chlorosulfurique qu'il renferme, se dissout aussi très-rapidement dans l'alcool, et celui-ci donne par l'eau un précipité huileux, neutre, très-soluble dans une solution alcoolique de potasse; quand on étend celle-ci

(1) Il est très-possible que l'action de l'acide chlorosulfurique sur l'alcool absolu donne naissance à l'éther sulfurique

$$SO^2Cl + C^4H^6O^2 = SO^3C^4H^5O + HCl.$$

La réaction serait tout à fait comparable à celles que donnent les chlorures de bore et de silicium en présence de l'alcool absolu.

d'eau, elle se trouble, et laisse déposer du perchlorure de carbone en flocons blancs.

Versé dans l'ammoniaque liquide, le produit chloré donne lieu à un fort sifflement; il se dégage une fumée blanche, épaisse, et il se forme un précipité qui contient un peu de sesquichlorure de carbone et de la chloracétamide. Quand, en effet, on traite ce précipité bien exprimé par de l'eau bouillante, il s'y dissout en très-grande partie; la liqueur cristallise, par le refroidissement, en longs prismes. Ces cristaux, à saveur très-sucrée et à peu près insolubles dans l'eau froide, se dissolvent rapidement dans l'ammoniaque liquide, et la liqueur, bouillie avec de la potasse, a donné ensuite la réaction des formiates.

Le gaz ammoniac sec, mis en présence de l'éther sulfureux chloré, est absorbé, et la matière finit par se solidifier. Traité par l'eau froide, le produit de la réaction s'y dissout en partie. La liqueur aqueuse précipite par le nitrate d'argent, et aussi par le chlorure de barium; mais tout l'acide sulfurique contenu dans la liqueur est loin de se précipiter à froid. Quand, en effet, on fait bouillir la liqueur précipitée à froid par un excès de chlorure de barium, puis filtrée, on voit se produire un nouveau et très-abondant précipité de sulfate de baryte. Il s'est donc formé de la sulfamide dans cette réaction; on sait que la sulfamide est un des produits de l'action du gaz ammoniac sur l'acide chlorosulfurique.

Toutes ces réactions concordent donc entre elles pour amener à cette conclusion, que le produit chloré de l'éther sulfureux est formé de perchlorure de carbone C^4Cl^6, d'acide chlorosulfurique SO^2Cl, et d'aldéhyde chloré

$$2SO^2C^4H^5O + 22Cl = 2SO^2Cl + C^4Cl^6 + C^4Cl^4O^2 + 10HCl.$$

Ces résultats sont bien d'accord avec ceux que M. Malaguti a récemment obtenus dans son beau travail sur les éthers composés chlorés; mais ils montrent en même temps

que l'action du chlore sur l'éther sulfureux s'est exercée exactement comme si elle avait eu lieu sur l'acide sulfureux et l'oyxde d'éthyle isolés. Cette dernière conclusion est importante au point de vue de la véritable constitution des éthers composés; elle conduit à admettre la préexistence de l'acide sulfureux et dè l'éther dans l'éther sulfureux, et, par suite, l'existence d'un acide et d'une base, formant chacun un groupe moléculaire distinct, dans tous les éthers composés.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — MARS 1846.

JOURS	9 HEURES DU MATIN. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	MIDI. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	3 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	9 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	THERMOMÈTR. Maxim.	Minim	ÉTAT DU CIEL A MIDI.	VENTS à MIDI.
1	761,25	+11,0		761,17	+14,4		760,51	+13,5		760,54	+ 8,3		+15,0	+10,0	Nuages..............	S.
2	760,01	+ 9,8		759,91	+14,3		759,39	+13,9		760,68	+ 9,5		+14,1	+ 5,5	Très-nuageux	S.
3	761,89	+ 8,0		760,55	+11,2		758,46	+14,1		755,62	+ 8,9		+14,0	+ 6,5	Quelques nuages......	O. S. O.
4	748,50	+13,5		747,69	+15,2		747,49	+12,7		749,66	+ 7,5		+16,0	+ 6,3	Éclaircies...........	S.
5	750,40	+ 9,3		750,14	+11,2		750,16	+10,7		751,38	+ 6,6		+11,6	+ 7,3	Éclaircies...........	S.
6	752,61	+ 8,4		753,41	+10,9		754,11	+ 9,3		755,85	+ 3,9		+11,8	+ 5,0	Nuageux.............	O.
7	753,78	+ 5,6		752,51	+10,7		751,00	+10,9		750,27	+ 8,6		+11,1	+ 1,0	Très-nuageux.........	S. O.
8	756,68	+ 5,8		756,81	+ 8,6		758,18	+ 9,4		759,83	+ 4,0		+11,0	+ 2,8	Nuageux.............	N.
9	761,09	+ 6,7		761,77	+ 8,8		761,69	+10,2		765,20	+ 7,0		+10,2	+ 3,0	Nuages.............	N. N. E.
10	767,69	+ 5,3		767,47	+ 9,7		767,21	+10,7		768,26	+ 6,3		+11,0	+ 1,8	Nuages..............	N. N. O.
11	769,38	+ 4,4		769,35	+10,2		768,92	+11,6		770,00	+ 7,7		+11,5	+ 1,1	Quelques vapeurs.....	N.
12	771,48	+ 5,2		771,38	+ 7,3		769,94	+ 9,9		770,41	+ 6,8		+10,0	+ 3,3	Couvert..............	N. E.
13	770,45	+ 7,0		769,44	+12,1		767,93	+14,6		768,34	+ 7,4		+14,6	+ 1,8	Beau.	O. N. O.
14	766,53	+ 7,8		766,61	+ 9,3		763,21	+12,4		762,57	+ 9,2		+12,2	+ 5,3	Couvert.............	O.
15	760,87	+10,5		760,55	+11,9		758,90	+12,9		759,84	+ 9,5		+13,0	+ 8,1	Couvert..............	O.
16	754,97	+10,0		752,56	+12,7		748,51	+14,2		745,46	+ 8,8		+14,8	+ 5,5	Beau	S. O. fort.
17	745,77	+ 7,6		745,24	+ 9,9		744,56	+10,6		745,45	+ 4,1		+11,0	+ 5,3	Nuages............ ..	S.
18	744,64	+ 4,8		743,68	+ 6,9		742,52	+ 5,6		743,41	+ 1,5		+ 7,5	+ 2,0	Éclaircies...........	S. E.
19	750,41	+ 3,3		750,64	+ 6,3		749,15	+ 5,0		749,62	+ 4,0		+ 6,0	+ 0,2	Quelques éclaircies..	O.
20	746,27	+ 4,6		748,14	+ 3,5		748,83	+ 5,6		749,88	+ 2,8		+ 5,6	+ 2,8	Quelqnes éclaircies..	O.
21	750,92	+ 4,3		750,90	+ 5,5		749,95	+ 6,5		748,60	+ 5,0		+ 6.5	0,0	Nuages....	S. O.
22	742,43	+ 8,8		743,41	+10,8		741,94	+11,4		741,38	+ 6,7		+12,8	+ 4,8	Couvert.	O. S. O.
23	743,02	+12,0		742,87	+10,6		742,14	+11,2		745,05	+ 5,8		+12,0	+ 4,8	Nuageux.............	S. O.
24	746,76	+ 7,9		745,51	+10,2		744,06	+ 9,0		744,05	+ 5,9		+10,8	+ 3,0	Couvert............	O. S. O.
25	748,58	+11,8		747,13	+10,8		745,21	+10,5		748,12	+ 5,2		+12,0	+ 3,9	Très-nuageux..	S. O. fort.
26	749,14	+ 7,0		749,41	+ 8,5		749,18	+11,2		753,17	+ 5,4		+11,5	+ 3,9	Pluie...............	O. S. O.
27	755,94	+10,5		755,29	+12,2		754,25	+11,5		752,97	+ 6,8		+11,9	+ 3,0	Couvert............	S. O.
28	745,68	+ 5,9		743,97	+ 8,3		742,31	+10,6		744,34	+ 5,8		+10,6	+ 5,3	Pluie	N. N. E.
29	752,44	+ 5,7		754,55	+ 6,9		756,32	+ 8,2		760,48	+ 4,4		+ 9,1	+ 4,1	Nuageux	O. N. O.
30	761,58	+ 6,2		760,38	+ 8,7		758 64	+ 9,5		755,12	+ 6,7		+ 9,8	+ 1,2	Quelqnes nuages......	N. E.
31	750,83	+ 9,8		750,24	+13,1		750,00	+13,8		751,40	+11,4		+13 6	+ 4,0	Quelques éclaircies...	S. O.
1	757,89	+ 8,3		757,14	+11,5		756,82	+11,5		757,73	+ 7,1		+12,6	+ 4,9	... Moy. du 1er au 10	Pluie en cent.
2	758,07	+ 6,5		757,66	+ 9,0		757,25	+10,2		756,47	+ 6,2		+10,6	+ 3,5	... Moy. du 11 au 20	Cour. 5 327
3	749,71	+ 8,2		749,42	+ 9,6		748,55	+10,3		749,52	+ 6,3		+11,0	+ 3,5	... Moy. du 21 au 31	Terr. 4,713
	754,88	+ 7,7		754,57	+10,0		754,02	+10,7		754,41	+ 6,5		+11,4	+ 4,0	... Moyenne du mois......	+ 7°,7

EXPÉRIENCES SUR LES EFFETS DE L'ÉLECTRICITÉ STATIQUE;

PAR M. CH.-G. KNOCHENHAUER.

Pendant les trois années qui viennent de s'écouler, j'ai fait une suite d'expériences sur les effets de l'électricité statique, et j'en ai publié les résultats dans plusieurs Mémoires qui sont insérés dans les *Annales de Physique et de Chimie de Poggendorff*. Ayant encore découvert depuis peu quelques phénomènes qui contribuent beaucoup à l'éclaircissement des autres, je prends la liberté de donner ici l'ensemble de mes observations, en adoptant l'ordre qui me paraît le plus convenable.

I. — *Sur la tension de l'électricité dans les différentes parties du fil conducteur.*

Lorsqu'on a chargé une batterie électrique non isolée, les deux électricités opposées qui se trouvent sur l'armature intérieure et extérieure sont, comme on le sait, dans un état différent. L'électricité qui couvre l'armature extérieure est dissimulée, et ne peut quitter sa place; celle qui couvre l'armature intérieure est en partie libre, et tend à s'unir à l'autre. Or, si l'on mène de l'extérieur de la batterie un fil conducteur terminé par une boule, jusqu'à une certaine distance, près d'une autre boule, qui se trouve en communication avec l'armature intérieure, l'électricité de celle-ci, annoncée par une étincelle, traverse l'air entre les deux boules, et passe par le fil conducteur pour effectuer l'union mentionnée. La grandeur de l'espace qu'on peut mettre entre les boules dépend de la quantité d'électricité qu'on a introduite dans la batterie, car plus la quantité en est grande, plus la tension ou la propriété de traverser l'air acquiert d'accroissement. Nous savons donc que l'électricité

extérieure bien isolée, donne immédiatement, par le nombre de ses décharges, la quantité d'électricité dont la batterie est chargée. Quatre séries d'expériences, faites sur le tonomètre, me donnèrent les valeurs suivantes tirées chacune de quatre observations, lorsque les boules qui, au point O du cadran, étaient déjà éloignées l'une de l'autre de 2 degrés, le furent davantage par un demi, un, deux, etc., tours de la vis.

TOURS de la vis.	NOMBRE des décharges de la bouteille de Leyde.				VALEUR moyenne.	DIFFÉRENCE.
½	4,31	4,44	4,03	4,22	4,25	"
1	7,06	7,06	7,03	6,94	7,02	5,02
2	12,18	12,12	11,94	11,94	12,04	4,91
3	17,00	17,06	16,78	16,94	16,95	4,71
4	21,69	21,94	21,44	21,56	21,66	4,80
5	26,50	26,62	26,19	26,56	26,46	

Depuis deux tours, les différences restant égales entre elles, on peut corriger les nombres trouvés selon la différence moyenne 4,81, et, pour la facilité du calcul, la faire égale à 8,00, parce que l'unité qui sert de mesure aux tensions est tout à fait arbitraire. Donc, si l'on mesure les distances que les boules ont entre elles, par le nombre des tours mêmes que l'on a donnés à la vis, on obtient la grandeur des tensions d'après la table suivante :

Distance.	Tension.
½	7,07
1	11,68
2	20,02
3	28,02
4	36,02
5	44,02

J'évitai pour l'ordinaire des distances au-dessous d'un demi-tour; au delà, le surcroît de tension, produit par 1 degré

entre un demi et un tour, est égal à 0,29; entre un et deux tours, égal à 0,26; et après deux tours, égal à 0,25. Quant au déchargeur, je déterminai la tension de la batterie donnée par cinq distances différentes de ses boules, et je la trouvai, d'après la même mesure, égale à 32,50; 36,00; 39,50; 43,00; 46,50.

Après ces préparatifs, on peut commencer les observations. Je communiquerai d'abord une expérience propre à rendre évidente la méthode d'opérer, et à fixer les points qui doivent être éclaircis. J'avais composé la batterie non isolée de quatre bouteilles, dont chacune avait une armature de 1 $\frac{1}{2}$ pied carré, et j'avais formé le conducteur, comme il a déjà été remarqué, d'un fil de cuivre isolé de $0^{lig},513$ de diamètre, lequel était disposé de la manière suivante : I, *fig*. 3, représentant l'armature intérieure de la batterie, il y avait 2 pieds jusqu'à A; puis venait le déchargeur AB avec ses boules C et D, puis de nouveau 1 pied jusqu'à M, première capsule du tonomètre; ensuite un fil MGHN d'une longueur que je variai, et qui allait jusqu'à la deuxième capsule N de l'instrument; enfin il y avait 3 pieds qui conduisaient jusqu'à l'extérieur de la batterie. De plus, le fil conducteur pouvait être allongé de 4 pieds, pour quelques observations, au moyen d'un fil de cuivre ajouté en A, entre le déchargeur et le fil AI, ou en M, entre le fil BM et le tonomètre, ou enfin en N, entre le tonomètre et le fil NE. Je plaçai alors les boules C et D à une distance convenable l'une de l'autre, et je mis en mouvement la machine électrique, afin de décharger plusieurs fois la batterie, et de rapprocher, pendant cela, l'une de l'autre les boules K et L, jusqu'à ce qu'il se montrât entre elles une étincelle. Ayant amené de cette manière, après quelques tâtonnements, le degré du cadran sous l'aiguille, près de laquelle cette étincelle paraissait encore chaque fois pendant la décharge de la batterie, je desserrai la vis d'un degré, et je déchargeai de nouveau la batterie deux fois de

suite, en faisant une croix (+) lorsque l'étincelle éclatait, et un zéro (o) lorsqu'elle cessait de se montrer. Ainsi je passai après chaque double décharge, de degré en degré, jusqu'à ce qu'enfin l'étincelle cessât entièrement. La série d'observations étant finie, je la répétai en rapprochant peu à peu les boules du tonomètre. Alors, mesurant par la disposition de la vis les distances des boules, distances que je notais de manière que les nombres, placés avant la virgule, désignassent les tours entiers de la vis, et ceux placés après la virgule, les degrés ou les fractions qui en faisaient partie (par exemple 2,5 égalant deux tours et $\frac{5}{12}$), je comptai double le nombre qui se trouvait entre deux observations consécutives marquées de deux croix et de deux zéros, et je comptai simplement ceux où l'étincelle s'était montrée une seule fois, mais avait cessé de paraître la fois suivante; enfin je pris le nombre moyen comme le nombre qui exprimait la vraie distance des boules. Ces distances donnèrent ensuite, d'après la table ci-dessus, la différence de la tension de l'électricité aux points M et N, que pourtant nous appellerons *différence apparente de la tension*, parce qu'il serait possible que l'électricité, mise en mouvement, ne franchît pas un espace égal, comme le fait celle qui est dans la batterie. Voici les observations faites de cette manière :

1°. Le fil MGHN entre M et N étant de 4 pieds, et le reste du fil conducteur,

(*a*) étant construit comme dans la *fig.* 3 :

Distance.	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	
	+	+	o	o	o	1,3 $\frac{1}{2}$
	+	+	o	o	o	
	+	+	o	o		1,3 $\frac{1}{2}$
	+	+	o	o		

1,3 $\frac{1}{2}$ = 12,59 différence apparente de tension.

(*b*) étant prolongé de 4 pieds en A :

Distance.	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	
	+	+	+	+	o	o	} 0,22
	+	+	+	o	o	o	
	+	+	o	+	o	o	} 0,22
	+	+	+	+	o	o	

0,22 = 8,81 différence appar. de tension.

(*c*) étant prolongé de 4 pieds en M :

Distance.	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	
	+	+	+	+	o	o	} 0,23
	+	+	+	+	+	o	
	+	+	+	o	o	o	} 0,21
	+	+	o	o	o	o	

0,22 = 8,81 différence appar. de tension.

(*d*) étant prolongé de 4 pieds en N :

Distance.	0,20	0,21	0,22	0,23	
	+	+	o	o	} 0,21 ½
	+	+	o	o	
	+	+	o	o	} 0,22
	+	+	+	o	

0,21 ¾ = 8,74 différence apparente de tension.

2°. Le fil entre M et N étant de 8 pieds, et le reste, (*a*) étant construit comme dans la *fig.* 3 :

Distance.	1,29	1,30	1,31	2,0	2,1	2,2	
	+	+	o	o	o	o	} 1,31
	+	+	o	+	o	o	
	+	+	o	o	o	o	} 1,30 ½
	+	+	o	o	o	o	

1,30 ¾ = 19,71 différence appar. de tension.

(*b*) étant prolongé de 4 pieds en A :

Distance.	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	
	+	o	o	+	o	} 1,13 ½
	+	+	o	o	o	
	+	+	o	o	o	} 1,13 ½
	+	o	+	o	o	

1,13 ½ = 15,19 différ. apparente de tension.

(*c*) étant prolongé de 4 pieds en M :

Distance.	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	
	+	+	o	o	o	o	} 1,14
	+	+	+	o	o	o	
	+	o	+	o	o	o	} 1,14 ½
	+	+	+	o	+	o	

1,14 ¼ = 15,38 différ. appar. de tension.

(*d*) étant prolongé de 4 pieds en N :

Distance.	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	
	+	+	o	o	o	} 1,13 ½
	+	+	o	o	o	
	+	+	o	o	o	} 1,13 ½
	+	+	o	o	o	

1,13 ½ = 15,19 différ. appar. de tension.

A cette suite d'expériences je vais en ajouter une autre. Lorsque les boules C et D du déchargeur furent à une nouvelle distance l'une de l'autre, le fil entre M et N étant de 8 pieds, on eut, d'après la donnée du tonomètre,

(*a*) lorsque le fil conducteur fut allongé en A de 4 pieds :

Distance.	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	
	+	+	o	o	o	} 1,17
	+	+	+	o	o	
	+	+	+	o	o	} 1,17 ½
	+	+	+	o	o	

1,17 ¼ = 16,16 différence apparente de tension.

(*b*) lorsque le fil conducteur fut allongé en N de 4 pieds :

Distance.	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	
	+	+	+	o	o	} 1,17 ½
	+	+	+	o	o	
	+	o	o	o	o	} 1,15 ½
	+	o	o	o	o	

1,16 ½ = 15,97 différ. appar. de tension.

(*c*) lorsque le déchargeur AB fut ôté de sa place, transporté en N derrière le tonomètre, et que A et B furent joints par le fil de 4 pieds de long:

Distance.	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	
	+	+	+	o	o	1,17
	+	+	o	o	o	
	+	o	o	o	o	1,16
	+	+	+	o	o	
						1,16 ½ = 15,97 différ. appar. de tension.

Si l'on observe ces résultats, on en conclura facilement que l'électricité, passant par un fil conducteur d'épaisseur égale, perd peu à peu sa tension, de sorte qu'il en disparaît des parties égales sur des longueurs égales. En effet, comme on peut allonger le fil conducteur à des points quelconques, déplacer à volonté le déchargeur, le mettre même derrière le tonomètre, et comme on en obtient néanmoins la même différence de tension entre deux points toujours également distants l'un de l'autre, cela ne peut être possible qu'autant que le principe donné est vrai, savoir que l'électricité perd sur chaque partie du fil conducteur une partie de sa tension proportionnelle à la longueur. Cependant une supposition serait encore possible; ce serait qu'une partie de la tension disparût tout à coup à un certain point du fil conducteur. Et, en effet, cette chute pourrait avoir lieu ou entre les deux boules du déchargeur, ou à la partie extérieure de la batterie, pourvu que l'électricité y arrivât encore avec un certain degré de tension. On ne supposera certainement pas une diminution si subite de tension à l'intérieur de la batterie, et c'est pourquoi je n'ai pas fait mention de ce cas.

Après avoir rendu les rapports aussi évidents, on n'a qu'à faire des recherches pour connaître si cette chute de la tension que nous avons supposée a véritablement lieu. A cet effet, je formai une batterie de deux bouteilles seulement, je laissai le fil conducteur comme dans la *fig.* 3, et

j'ajoutai successivement, entre M et N, des fils de 2, 4, 8, 12 pieds. Les tables suivantes donnent les résultats de ces expériences : la première colonne A représente la tension de la batterie qui fut mesurée par le déchargeur; la seconde B, les distances des boules du tonomètre, calculées d'après les tours de la vis; la troisième C, la différence apparente de la tension correspondante à la valeur moyenne de ces distances; enfin la quatrième D, la différence de la tension réduite sur la même tension de 40,00 de la batterie.

N° I. *Entre* M *et* N *un fil de* 2 *pieds de long.*

A.	B.		C.	D.
43,00	0,16	0,15 ½	7,00	6,51
43,00	0,16	0,16 ½	7,14	6,64
46,50	0,18 ½	0,17 ½	7,65	6,58
46,50	0,17 ½	0,17 ½	7,51	6,46
			Moyenne.......	6,55

N° II. *Entre* M *et* N *un fil de* 4 *pieds de long.*

A.	B.		C.	D.
32,50	0,26	0,26	9,97	12,27
32,50	0,25 ½	0,25 ½	9,83	12,10
36,00	0,29 ½	0,29 ½	10,98	12,20
36,00	0,30	0,30	11,12	12,35
39,50	1,1 ½	1,1 ½	12,12	12,27
39,50	1,2	1,2 ½	12,27	12,42
43,00	1,6 ½	1,6	13,30	12,37
43,00	1,6	1,5	13,11	12,20
46,50	1,9 ½	1,9 ½	14,15	12,17
46,50	1,9 ½	1,9 ½	14,15	12,17
			Moyenne.......	12,25

N° III. *Entre* M *et* N *un fil de* 8 *pieds de long.*

A.	B.		C.	D.
32,50	1,15 ¾	1,15 ½	15,76	19,40
32,50	1,14	1,13 ½	15,25	18,77
36,00	1,22 ½	1,22	17,46	19,40
36,00	1,23 ½	1,22	17,59	19,54
39,50	1,28	1,28 ½	19,02	19,26
39,50	1,29	1,28	19,11	19,36
43,00	2,2 ½	2,2	20,58	19,14
43,00	2,2 ½	2,2	20,70	19,26
46,50	2,8 ½	2,8 ½	22,14	19,04
46,50	2,8	2,8 ½	22,08	18,99
			Moyenne.......	19,22

N° IV. *Entre* M *et* N *un fil de* 12 *pieds de long.*

A.	B.		C.	D.
32,50	1,25 ½	1,27	18,52	22,79
32,50	1,26 ½	1,26	18,52	22,79
36,00	2,2 ½	2,3 ½	20,75	23,05
36,00	2,2	2,1 ½	20,45	22,72
39,50	2,10 ½	2,11	22,71	22,99
39,50	2,10	2,10	22,52	22,80
43,00	2,16 ½	2,16	24,08	22,40
43,00	2,17 ½	2,18	24,45	22,75
46,50	2,25 ½	2,23 ½	26,14	22,49
46,50	2,25 ½	2,26	26,39	22,70
			Moyenne.......	22,75

Ensuite, le fil conducteur fut allongé de 4 pieds en A, et je fis, avec les mêmes fils intercalés (moins celui de 2 pieds, qui aurait demandé de trop petites distances des boules), de nouvelles observations qui me donnèrent les nombres suivants :

N° V. *Entre* M *et* N *un fil de* 4 *pieds de long.*

A.	B.		C.	D.
32,50	0,14	0,14	6,51	8,01
36,00	0,17	0,17 ½	7,42	8,24
39,50	0,20	0,20 ½	8,30	8,40
43,00	0,23 ½	0,23	9,17	8,52
46,50	0,26 ½	0,26	10,04	8,63
			Moyenne.......	8,36

N° VI. *Entre* M *et* N *un fil de* 8 *pieds de long.*

A.	B.		C.	D.
32,50	1, ½	1,1 ¼	11,94	14,63
36,00	1,6 ½	1,7	13,30	14,78
39,50	1,12	1,11	14,68	14,86
43,00	1,17	1,16	15,97	14,86
46,50	1,22	1,21	17,27	14,85
			Moyenne.......	14,79

N° VII. *Entre* M *et* N *un fil de* 12 *pieds de long.*

A.	B.		C.	D.
32,50	1,11 ½	1,11 ½	14,68	18,07
36,00	1,19	1,18	16,49	18,32
39,50	1,26 ½	1,26	18,53	18,76
43,00	2,1 ⅛	2, ½	20,25	18,84
46,50	2,6 ¼	2,6 ⅔	21,62	18,60
			Moyenne.......	18,52

Pour trouver la formule d'après laquelle on peut calculer ces expériences, supposons d'abord que les nombres observés soient les vraies différences entre les tensions en M et en N, et, de plus, que la tension de 40,00 de la batterie diminuant, d'après la loi ci-dessus établie, subisse encore une chute soudaine, dont la grandeur soit représentée par un fil d'une certaine longueur; alors, si nous désignons

par x toute la longueur du fil conducteur, non compris le fil ajouté entre M et N, et la longueur de ce dernier par l, nous obtenons évidemment que la vraie différence des tensions en M et en N est en rapport avec celle de la batterie comme $l : l + x$. En conséquence, il en résulte les équations suivantes :

N° I. $\frac{2}{2+x} = \frac{6,55}{40,00}$, d'où l'on tire $x = 10,23$;

N° II. $\frac{4}{4+x} = \frac{12,25}{40,00}$ — — $x = 9,07$;

N° III. $\frac{8}{8+x} = \frac{19,22}{40,00}$ — — $x = 8,65$;

N° IV. $\frac{12}{12+x} = \frac{22,75}{40,00}$ — — $x = 9,10$;

N° V. $\frac{4}{4+x} = \frac{8,36}{40,00}$ — — $x = 15,14$;

N° VI. $\frac{8}{8+x} = \frac{14,79}{40,00}$ — — $x = 13,64$;

N° VII. $\frac{12}{12+x} = \frac{18,52}{40,00}$ — — $x = 13,92$.

Ce calcul est peu satisfaisant, car la longueur du fil conducteur, non compris le déchargeur, étant (n° I) jusqu'à 4 = 6 pieds, et (n° V) jusqu'à 7 = 10 pieds, on obtient des nombres très-inégaux sur le déchargeur et sur la tension qui disparaît soudain, savoir : 4,23, 3,07, 2,65, 3,10, 5,14, 8,64, 3,92; et voici encore une nouvelle expérience qui ne fait ressortir que plus fortement cet inconvénient. Après que j'eus ajouté derrière N (le conducteur restant comme dans la *fig.* 3) un second déchargeur tout à fait semblable à celui déjà décrit, et que j'en eus éloigné les boules à une distance à peu près égale comme celles du premier déchargeur, le tonomètre, dans les capsules duquel se trouvait un fil de 4 pieds, donna les nombres suivants :

A.	B.		C.	D.
32,50	0,24 ½	0,24	9,38	11,54
36,00	0,28 ½	0,28	10,19	11,32
39,50	0,31 ½	0,31 ½	11,54	11,68
43,00	1,4	1,4 ½	12,79	11,90
46,50	1,7	1,8	13,65	11,74
			Moyenne.......	11,64

Si l'on calcule de nouveau la longueur x qu'a le fil conducteur dans cet arrangement, par la formule

$$\frac{4}{4+x}=\frac{11,64}{40,00},$$

on trouve $x = 9^{pi},75$, valeur qui, comparée avec celle de x du nº II, ne donne pour le déchargeur qu'une longueur égale à $0^{pi},7$. Mais cette longueur est déjà réclamée par les parties métalliques de l'instrument; il ne reste donc aucune partie de la tension qui disparaisse tout à coup dans l'étincelle, entre les boules C et D. Cependant cette place du fil conducteur est sans doute celle où l'on placerait le plus raisonnablement une chute de la tension; je crois donc que, puisqu'on ne l'y trouve pas, il est parfaitement impossible de la supposer en des points qui se trouvent dans une jonction métallique. Comme les expériences mêmes ont démontré qu'il n'y a point de chute de la tension sur le conducteur, il ne reste que cette seule supposition, confirmée, outre cela, par tout ce qui suit, que les nombres observés indiquent non la différence vraie, mais la différence apparente de la tension, et qu'on doit y ajouter encore une constante m pour obtenir les vraies valeurs. Je fais, d'après cela, $m = 2,61$ (la tension de la batterie étant égale à 40,00), la longueur du déchargeur et du fil conducteur sans addition égale $6^{pi},7$, et la valeur du fil allongé de 4 pieds $= 10^{pi},7$; or, en désignant par D la différence

observée, je calcule, au moyen de l'équation

$$\frac{l}{l+x}=\frac{D+m}{40,00},$$

la table suivante :

l.	$x = 6^{pi},7$.		$x = 10^{pi},7$.	
	D observé.	D calculé.	D observé.	D calculé.
2 pieds	6,55	6,58	"	"
4 pieds	12,25	12,34	8,36	8,28
8 pieds	19,22	19,16	14,79	14,50
12 pieds	22,75	23,06	18,52	18,53

La conformité du calcul avec les observations est si grande, que la supposition faite plus haut paraît bien justifiée. En conséquence, quelle que soit la cause par laquelle, pour la même charge de la batterie, la différence observée se trouve être une grandeur constante plus petite que la vraie, il résulte des expériences communiquées la loi simple, que l'électricité passant par un fil conducteur du même diamètre y perd toute sa tension, des parties égales disparaissant sur des longueurs égales. D'après cette loi, on calcule facilement la tension de l'électricité sur un point quelconque ; car ce point, éloigné de A pieds de l'armature extérieure de la batterie à laquelle on a donné une tension égale à Q, a lui-même une tension égale à $\frac{A}{C}Q$, C désignant la longueur de tout le fil conducteur. Mais, lorsque cette électricité doit passer sur les boules du tonomètre, elle ne paraît que comme douée d'une tension égale à $\left(\frac{A}{C}-\frac{2,61}{40,00}\right)Q=\left(\frac{A}{C}-0,065\right)Q$.

Après avoir obtenu ce résultat, je cherchai à déterminer la tension sur un fil conducteur contenant deux branches. Pour cela, je conservai l'arrangement représenté dans la *fig.* 3 ; mais, au lieu du fil MGHN intercalé entre M et N, j'y

insérai deux fils de cuivre de la même épaisseur, dont l'un se trouvait comme MGHN dans une position horizontale, l'autre dans une position verticale (voyez la *fig.* 4). Or l'électricité de l'intérieur de la batterie parcourut 3 pieds du fil et le déchargeur jusqu'à M; de là, elle se partagea et suivit les deux branches MGHN et MOPN pour traverser ensuite le fil NE de 3 pieds jusqu'à l'extérieur E de la batterie. Dans la première expérience que je fis, les deux branches avaient la même longueur de 4 pieds, et dans la seconde, l'une était de 4 pieds et l'autre de 8 pieds de long. Le tonomètre montra la différence apparente de la tension en M et N, et donna les nombres suivants :

N° I. *Branches de 4 et 4 pieds de long.*

A.	B.		C.	D.
39,50	0,14 ½	0,14 ½	6,62	6,70
39,50	0,15 ½	0,15	6,85	6,93
43,00	0,17 ½	0,17	7,43	6,91
43,00	0,17	0,18 ½	7,57	7,04
46,50	0,19 ½	0,18 ½	7,94	6,84
46,50	0,20	0,19 ½	8,15	7,01
			Moyenne.......	6,90

N° II. *Branches de 4 et 8 pieds de long.*

A.	B.		C.	D.
32,50	0,17	0,16	7,21	8,89
32,50	0,17	0,17 ½	7,42	9,14
36,00	0,19 ½	0,19	8,01	8,90
36,00	0,20	0,20 ½	8,30	9,22
39,50	0,22 ½	0,22 ½	8,93	9,04
39,50	0,21	0,21 ½	8,59	8,70
43,00	0,25	0,24	9,63	8,95
43,00	0,26 ½	0,26	10,13	9,40
46,50	0,28 ½	0,28 ½	10,67	9,17
46,50	0,29 ½	0,29 ½	10,96	9,42
			Moyenne.......	9,08

Si l'on fait sur ces expériences les mêmes opérations que précédemment, et que l'on désigne par l la longueur qui représente les deux premières branches, et par l' la longueur des deux autres, on trouve $l = 9^{pi},09$ par l'équation

$$\frac{l}{l + 6,7} = \frac{6,90 + 2,61}{40,00},$$

et $l' = 2^{pi},77$ par l'équation .

$$\frac{l'}{l' + 6,7} = \frac{9,08 + 2,61}{40,00}.$$

On voit que les deux branches, prises ensemble, remplacent un fil simple plus court que chacune d'elles. Je nommerai une telle longueur *longueur équivalente*, de sorte que la longueur de deux branches, chacune de 4 pieds, est équivalente à $2^{pi},09$ d'un fil simple du même diamètre. Quant à la longueur équivalente de deux branches, on peut facilement la déterminer de la manière suivante : Il est connu que le courant électrique, après être arrivé en M, se partage sur les deux branches, de sorte que, dans le premier cas, la moitié du fluide traverse chacune d'elles, et que, dans l'autre, deux tiers du fluide passent par la branche de 4 pieds, et un tiers par celle de 8 pieds; on n'a donc qu'à multiplier la longueur de chaque branche par la partie du fluide qui la traverse, afin de trouver la longueur équivalente de ces deux branches. D'après cette règle, on obtient, par le calcul, $l = 2^{pi},00$ et $l' = 2^{pi},67$, ce qui diffère peu des observations; au reste, cette différence résulte de causes particulières que l'on connaîtra plus tard.

Il s'agit de savoir encore de quelle grandeur est la tension de l'électricité sur chacune des deux branches mêmes. Évidemment on ne saurait admettre que deux cas possibles : ou la tension dépendra de la quantité d'électricité qui se trouve sur chaque branche, ou bien elle répondra entièrement à la place du fil conducteur qu'occupent les deux branches considérées comme un simple fil. Pour décider entre ces deux cas, j'arrangeai le fil conducteur

comme dans la *fig.* 5. Depuis l'intérieur I de la batterie le courant parcourut 3 pieds et le déchargeur jusqu'à P, d'où partaient les deux branches PQF et PMF, chacune de 4 pieds de long, suivies d'un fil simple FON de 4 pieds, auquel j'en ajoutai un autre NE de 3 pieds qui allait jusqu'à l'extérieur de la batterie; le tonomètre joignait les deux points M et N, dont le premier, M, se trouvait au milieu de la branche PMF. Dans cet arrangement, les deux branches ayant une longueur équivalente de $2^{pi},09$, la tension p en N est égale à

$$\frac{3 \times 40,00}{3 + 4 + 2,09 + 3,7} = 9,38;$$

de plus, la tension p' dans le milieu des branches considérées comme un seul fil est égale à

$$\frac{(3 + 4 + 1,045)\, 40,00}{3 + 4 + 2,09 + 3,7} = 25,16.$$

Si donc la tension dépend de la quantité d'électricité, elle sera, en M, égale à $\frac{p'}{2}$, et, par conséquent, la différence apparente de la tension entre M et N, que donne le tonomètre, est égale à $\frac{p'}{2} - \frac{p}{2} - m = 0,59$; si, au contraire, la tension en M ne dépend que du lieu qu'occupe ce point, la même différence sera égale à $p' - p - m = 13,17$. Les deux nombres sont si différents, que l'expérience peut facilement décider la question; elle me donna :

A.	B.		C.	D.
39,50	1,5 $\frac{2}{8}$	1,5	13,07	13,23
43,00	1,9 $\frac{1}{2}$	1,9	14,08	13,10
46,50	1,14	1,13 $\frac{1}{2}$	15,25	13,12
			Moyenne......	13,15

Cette valeur décide, pour le second cas, que la tension sur chacune des deux branches ne dépend que du lieu

qu'elles occupent dans le fil conducteur. Les résultats que nous venons de trouver sont certainement dignes de remarque; cependant on doit se garder de les appliquer à un arrangement du conducteur, qui paraît, au premier coup d'œil, être le même, mais qui néanmoins ne peut être traité d'après les mêmes règles; car, si on lie les deux branches de 4 pieds à quelques points avec de la soie, de manière qu'elles ne forment plus qu'un fil plus épais, la moitié du courant vient encore sur chacune d'elles, mais elles ne représentent plus une longueur de 2 pieds. C'est ce que montre l'observation suivante :

A.	B.		C.	D.
32,50	0,24	0,23 ½	9,30	11,45
36,00	0,27	0,28	10,40	11,55
39,50	0,31 ½	1,0	11,61	11,75
43,00	1,4	1,3	12,59	11,71
46,50	1,6	1,6 ½	13,30	11,44
			Moyenne.......	11,58

Si l'on tire ici la longueur équivalente du double fil de l'équation

$$\frac{l}{l+6,7}=\frac{11,58+2,61}{40,00},$$

on obtient $l = 3^{pi},68$, valeur véritablement plus grande que 2 pieds, et qui moutre que les deux fils unis ne doivent pas être considérés comme des branches, mais comme un seul fil d'un diamètre plus grand.

En effet, il y a des lois toutes particulières pour les fils plus forts ou plus fins, qui sont ajoutés au fil conducteur. Pour les découvrir, j'avais fait faire, au moyen de la filière, quatre sortes de fils fins avec du fil de cuivre de la même espèce que celui employé ci-dessus; je pris d'abord 4 pieds du plus fin, qui était d'un diamètre de $0^{lig},104$, et je les plaçai entre M et N, les autres parties du conducteur res-

tant comme dans la *fig.* 3 ; mais ces observations me firent obtenir des résultats qui, quoique bien remarquables, me paraissaient cependant si délicats, que je ne pouvais rien espérer de bien favorable à la théorie en continuant ce genre d'expériences ; car voici ce que le tonomètre me donna :

A.	B.		C.	D.
32,50	0,30	0,30	11,10	13,66
36,00	1,3	1,2	12,33	13,70
39,50	1,7	1,8	13,63	13,80
43,00	1,11 ½	1,11 ½	14,67	13,65
46,50	1,16 ½	1,17	16,05	13,81
46,50	1,16 ½	1,16	15,92	13,70
			Moyenne.......	13,2

En calculant, d'après la formule

$$\frac{l}{l + 6,7} = \frac{13,72 + 2,61}{40,00},$$

on trouve la longueur équivalente du fil fin $l = 4^{pi},62$, c'est-à-dire que 4 pieds de ce fil ont sur l'équilibre de la tension la même influence que $4^{pi},62$ du fil employé auparavant ; d'où il résulte que les longueurs équivalentes de deux fils de cuivre n'ont entre eux qu'un rapport, comme 462 : 400, tandis que leurs diamètres ont un rapport, comme 513 : 104, ou, environ, comme 5 : 1. Ce résultat est certainement bien remarquable ; il fait voir que des longueurs égales de fils d'un diamètre très-différent ont à peu près la même influence ; mais il fait voir de même qu'on ne peut, comme je l'ai déjà dit ci-dessus, par des expériences continuées, parvenir à établir une règle d'après laquelle on trouverait les longueurs équivalentes comme fonctions des diamètres, parce que les nombres obtenus ne sont pas assez sûrs. Abandonnons donc cette question ; cependant il ne sera pas hors de propos d'examiner de plus près les causes qui amènent ce nouvel état d'équilibre de la

tension. Le courant électrique passant par tout le fil conducteur, et formé de la même quantité d'électricité, est sans doute plus fortement comprimé sur le fil mince, et y acquiert par là une tension plus grande; celle-ci cherche alors à maintenir son équilibre, et étend son influence sur toutes les parties du fil conducteur, en augmentant la force de la tension vers l'intérieur de la batterie, et en la chassant plus rapidement vers l'extérieur : ainsi le fil mince paraît plus long, parce qu'il se trouve à ses deux extrémités une plus grande différence de tension. Cependant, si l'on pensait que cet effet du fil mince dût être encore plus puissant, en ce que l'électricité est plus comprimée sur lui, j'avouerais que ce raisonnement paraît juste, d'après les points de vue sous lesquels nous avons jusqu'à présent considéré l'électricité; j'objecterais seulement que ces points de vue ne sont pas encore libres d'erreurs, et doivent être vérifiés par les faits.

J'employai ensuite, pour les expériences, d'autres fils qui offraient une plus grande résistance au passage du courant. Je pris pour cela un fil de platine de $0^{lig},081$ de diamètre, et j'en intercalai successivement 2, 4 et 6 pieds entre M et N, les autres parties du fil conducteur restant les mêmes que dans la *fig.* 3. La batterie était formée de trois bouteilles, parce qu'une plus grande quantité d'électricité paraissait ici plus désirable pour la sûreté des observations.

Les expériences produisirent les nombres suivants :

N° I. *Entre* M *et* N 2 *pieds de fil de platine.*

A.	B.		C.	D.
32,50	0,18	0,18 ½	7,72	9,51
36,00	0,22	0,22 ½	8,88	9,87
39,50	0,25	0,24 ½	9,60	9,72
43,00	0,28	0,27 ½	10,47	9,74
46,50	0,31	0,31	11,40	9,81
			Moyenne.......	9,73

N° II. *Entre* M *et* N 4 *pieds de fil de platine.*

A.	B.		C.	D.
32,50	1,2 ½	1,3	12,39	15,25
36,00	1,9	1,9 ½	14,08	15,64
39,50	1,14 ¼	1,13	15,22	15,41
43,00	1,19	1,20	16,75	15,58
46,50	1,26	1,26	18,46	15,82
			Moyenne.......	15,54

N° III. *Entre* M *et* N 6 *pieds de fil de platine.*

A.	B.		C.	D.
32,50	1,16 ½	1,16	15,90	19,57
36,00	1,22 ½	1,24	17,72	19,69
39,50	1,30 ½	1,31	19,68	19,92
43,00	2,5 ½	2,5 ½	21,39	19,90
46,50	2,13	2,12	23,14	19,91
			Moyenne.......	19,80

Alors le fil conducteur fut allongé de 4 pouces de fil de cuivre, d'où j'obtins les résultats :

N° IV. *Entre* M *et* N 4 *pieds de fil de platine.*

A.	B.		C.	D.
32,50	0,27	0,27 ½	10,33	12,71
36,00	0,30	0,30 ½	11,19	12,43
39,50	1,2 ½	1,2 ½	12,33	12,47
43,00	1,7 ½	1,8	13,70	12,74
46,50	1,12	1,11	14,67	12,62
			Moyenne.......	12,59

N° V. *Entre* M *et* N 6 *pieds de fil de platine.*

A.	B.		C.	D.
32,50	1,6	1,7	13,37	16,46
36,00	1,14	1,13 ½	15,25	16,94
39,50	1,18 ½	1,19	16,50	16,71
43,00	1,25 ½	1,25	18,26	16,99
46,50	1,30 ½	1,30	19,56	16,83
			Moyenne........	16,80

Enfin j'ajoutai 4 pieds de fil de platine au fil conducteur devant le déchargeur, et en même temps je plaçai entre M et N un fil de cuivre de 8 pieds de long et de la grosseur ordinaire.

A.	B.		C.	D.
36,00	0,30 ½	0,29	11,03	12,25
39,50	1, ½	1, ½	11,81	11,95
43,00	1,6	1,6	13,24	12;32
46,50	1,9	1,9 ½	14,08	12,12
			Moyenne.......	12,16

Si d'abord on soumet au calcul la dernière expérience et qu'on désigne par l la longueur équivalente des 4 pieds du platine qu'on a ajoutés, on obtient facilement

$$\frac{8}{l + 14,7} = \frac{12,16 + 2,61}{40,00},$$

d'où l'on a $l = 6^{pi},56$. Il est donc nécessaire que les fils aient aussi à peu près la même longueur équivalente dans les cinq premières expériences; mais, si l'on introduit cette longueur dans le calcul, on n'obtiendra rien de satisfaisant; il ne reste donc qu'à distinguer les deux cas dans lesquels le fil conducteur est ou dans l'arrangement ordinaire, ou allongé de 4 pieds, et à faire, dans le premier cas, la longueur équivalente de 4 pieds de platine égale à $5^{pi},7$, et, dans le second cas, égale à $6^{pi},6$. Avec ces valeurs, on obtiendra la table suivante :

Partie const. du cond. = $6^{pi},7$.			Partie const. du cond. = $10^{pi},7$.		
Fil entre M et N.	D observé.	D calculé.	Fil entre M et N.	D observé.	D calculé.
2 pieds de platine = $2^{pi},85$.........	9,73	9,33	"	"	"
4 pieds de platine = $5^{pi},7$.........	15,54	15,78	4 pieds de platine = $6^{pi},6$.........	12,59	12,65
6 pieds de platine = $8^{pi},55$........	19,80	19,82	6 pieds de platine = $9^{pi},9$........	16,80	16,61

Les résultats que nous venons de trouver offrent quelques particularités. Premièrement, il est très-frappant qu'un fil mince de platine, qui, comme on le sait, arrête beaucoup le courant électrique, ne produise pas, quant à la tension, un effet bien différent de celui produit par un fil de cuivre; secondement, on ne remarquera pas sans surprise que la longueur équivalente de 4 et de 6 pieds de platine soit devenue plus grande après qu'on a allongé le fil conducteur. J'hésite à faire connaître mon opinion sur le premier cas, parce qu'elle n'est que purement hypothétique; quant au second, il s'expliquera si l'on examine de près les causes qui produisent un pareil résultat. Je venais de remarquer que l'électricité, concentrée sur un fil mince, obtient une plus forte tension, et agit par là sur les autres parties du fil conducteur. Maintenant il est également évident que ce dernier oppose, de son côté, une résistance qui devient plus grande quand le courant y occupe une place plus petite, et acquiert lui-même rapidement une plus grande tension; au contraire, si l'on allonge le fil conducteur ou si l'on y donne au fluide électrique un plus grand espace qui en diminue la tension, on fera ressortir plus fortement l'effet du fil mince qui semblera d'une dimension plus longue. D'après ce raisonnement, on voit que les fils minces sont d'une longueur équivalente variable dans les différents cas où ils font partie d'un fil conducteur.

Pour terminer ces expériences, je formai encore un conducteur qui contenait, comme dans la *fig.* 4, deux branches, l'une de 4 pieds de platine, l'autre de 4 pieds de cuivre de $0^{lig},513$ de diamètre. Le tonomètre donna :

A.	B.		C.	D.
43,00	0,21	0,21 ½	8,59	7,99
43,00	0,20 ½	0,22	8,59	7,99
46,50	0,24	0,24	9,37	8,06
46,50	0,24 ½	0,24 ½	9,51	8,18
			Moyenne.......	8,05

Par la formule

$$\frac{l}{l+6,7}=\frac{8,05+2,61}{40,00}$$

on obtient la longueur équivalente de ces deux branches $l=2^{pi},43$. Ce résultat est facilement déduit de la règle ci-dessus mentionnée, pourvu qu'on considère le fil de platine comme un fil de cuivre de $5^{pi},7$ de long; car alors la longueur équivalente des deux branches prises ensemble, calculée d'après la formule

$$\frac{5,7\times 4}{9,7},$$

doit être égale à $2^{pi},35$, nombre encore un peu plus petit que celui qui a été trouvé. Cependant nous ne pouvons laisser ce résultat sans en tirer une nouvelle conclusion. Lorsque, dans les deux expériences mentionnées plus haut, les branches étaient formées du même fil de cuivre, nous pûmes facilement tirer de leur longueur les parties du courant qui traversaient ces branches; car, lorsqu'une des branches était de 4 pieds, l'autre de 8 pieds, deux tiers du courant devaient parcourir la première, et un tiers la seconde branche. De plus, comme nous trouvâmes que l'électricité avait sur ces branches une tension qui ne correspondait qu'à leur place sur le fil conducteur, nous pûmes en déduire que ce retour à une tension plus élevée n'est possible que dans le cas où la longueur de chaque branche est réduite à une plus petite, qui soit en raison de la quantité du courant qui s'y trouve. Nous avons maintenant ici deux branches formées de métaux tout à fait différents, mais nous savons que l'une est longue de 4 pieds, et que l'autre a une longueur équivalente de $5^{pi},7$; nous trouvons, de plus, que toutes deux ensemble sont réduites à une longueur telle qu'elle aurait été, si les deux branches avaient été l'une et l'autre de cuivre, l'une de 4 pieds, l'autre de $5^{pi},7$ de long; nous devons, en toute sûreté, conclure de là que les

parties du courant sur ces deux branches sont aussi les mêmes que si les fils de cuivre dont nous venons de parler avaient formé les branches. Nous avons donc trouvé le théorème important, que sur deux branches d'un fil conducteur le courant se partage en raison inverse de leurs longueurs équivalentes. Cette division, toute différente des lois que suit le courant galvanique, provient dans le courant électrique de ce que la tension doit être en équilibre sur tout le fil conducteur. Cependant, pour ne rien omettre ici, quelque minutieux que cela puisse paraître, je ferai encore remarquer que ce n'est qu'avec le plus grand soin que l'on doit employer le théorème pour le maintenir dans toute sa rigueur. Nous avons déjà vu précédemment que la longueur équivalente d'un fil mince est un peu plus grande si l'on allonge le fil conducteur, le fil mince y trouvant un plus grand espace pour étendre sa tension. Mais il se présentera également un cas semblable, si l'une des deux branches est faite de fil mince et l'autre de fil fort; car, dans ce cas aussi, la force du premier fil pourra se montrer plus grande, tandis que l'autre cède à l'action comme le reste du fil conducteur. Il faut donc admettre que la longueur équivalente d'un fil mince sera un peu plus grande dans le cas où il forme une branche, tandis que l'autre est composée d'un fil fort et long, comme dans celui où ce fil mince est ajouté au fil conducteur pour lui seul, ou comme une branche opposée à une autre branche de fil également fin. En conséquence, le théorème ci-dessus exige, pour conserver toute sa rigueur, que l'on prenne chaque fois les longueurs équivalentes selon les circonstances particulières dans lesquelles les fils se trouvent. Cependant il serait difficile de ne déterminer que par des expériences ces longueurs des fils pour tous les rapports qui pourraient se présenter, et nous n'obtiendrons sûrement la solution complète du problème que par une juste théorie. Quant à moi, il me suffit d'avoir exposé des faits qui certainement ne sont pas indignes d'une appréciation plus

exacte, et qui montrent clairement que les points de vue sous lesquels on a envisagé jusqu'à présent l'électricité ont besoin de quelque vérification.

II. — *Remarques sur la théorie du paratonnerre.*

Les résultats qui viennent d'être trouvés fournissent quelques règles qu'on doit observer dans la construction des paratonnerres, et l'importance du sujet semble demander que j'attire par quelques mots l'attention sur cette matière. Lorsque la foudre, pourvue d'une tension plus ou moins grande, atteint la pointe du paratonnerre qu'elle parcourt jusqu'à ce qu'elle arrive sur le sol humide où elle disparaît, elle ne peut, d'après les lois développées plus haut, perdre sa tension que peu à peu, en raison de la longueur du chemin qu'elle a parcouru sur le conducteur de dimension égale dans toutes ses parties. Pour cela, à un point éloigné de x pieds du sol, il reste une tension égale à $\frac{x}{C}Q$, si C désigne la longueur du paratonnerre, et Q la tension primitive de la foudre. A cause de la tension qui reste, une partie de la foudre doit sauter sur d'autres conducteurs qui se trouveraient dans le voisinage, et peut causer un dommage considérable. Je ne doute point qu'on ne se soit déjà occupé de cette déviation de la foudre, mais je crois qu'on a toujours supposé que la partie de la foudre qui se détourne était en raison inverse des résistances qu'offrent le conducteur latéral et le reste du paratonnerre lui-même; on croyait donc, dans la plupart des cas, ne pas avoir à craindre un dommage de quelque importance. Cependant la loi développée ci-dessus sur la division du fluide électrique montre que ce fluide se divise en raison inverse des longueurs équivalentes des deux conducteurs; et comme ces longueurs diffèrent peu des longueurs naturelles, même dans un fil très-fin, il peut se faire que l'électricité qui forme la foudre dévie à peu près de la moitié, et que, brisant le faible conducteur, elle cause des

ravages dangereux. C'est pour cette raison que, dans la construction des paratonnerres, on porte la plus grande attention sur les conducteurs, même les plus fins, qui se trouvent dans leur voisinage, et qui vont jusqu'à terre sans interruption ou qui sont séparés par de petits espaces. Si l'on ne peut pas éloigner ces conducteurs ou s'ils doivent être précisément garantis contre les effets de la foudre, il ne reste alors aucun autre moyen que de donner au paratonnerre une longueur considérable devant le point dangereux, afin que la tension de l'électricité soit considérablement diminuée à ce point, et que la foudre ne puisse plus franchir l'espace. Soit supposée une place sur laquelle la foudre pourrait tomber, et éloignée de 15 pieds du sol; si l'on élève un conducteur haut de 30 pieds, la tension de l'électricité sera encore près de la place désignée de $\frac{Q}{2}$; si l'on élève, au contraire, un conducteur de 60 pieds de haut, il ne reste qu'une tension égale à $\frac{Q}{4}$. Il paraît encore plus convenable de faire diverger en plusieurs bras le conducteur destiné à protéger la place désignée; en effet, si en donnant, comme il vient d'être dit, une longueur de 60 pieds au conducteur, on le fait diverger en deux bras à 20 pieds du sol, la tension au point mentionné serait réduite à $\frac{3}{20}Q$, et même à $\frac{Q}{12}$ en le faisant diverger en quatre bras. Je vais maintenant communiquer quelques expériences qui viennent à l'appui de cette opinion. La batterie se composait de trois bouteilles; le fil conducteur était formé de 2 pieds de fil de cuivre de $0^{lig},513$ de diamètre, puis du déchargeur, et ensuite de 12 pieds du même fil; à 11 pieds de l'extérieur de la batterie se trouvait le point M qui était mis en contact avec le tonomètre. Dans trois expériences successives, je menai, de la capsule N sur le sol, un conducteur différent: dans la première expérience, il était de 3 pieds de fil de cuivre;

dans la deuxième, de 20 pieds de fil de packfong de 0^{lig},126 de diamètre; dans la troisième, du même fil de packfong, mais dont l'extrémité se trouvait dans un verre plein d'eau, duquel sortait, à 2 ou 3 pouces de distance, un petit fil de cuivre qui communiquait avec l'extérieur de la batterie. Les tables suivantes donnent les nombres du tonomètre dans ces trois cas : dans la première colonne A se trouve la charge de la batterie; dans la deuxième, B la distance des boules du tonomètre mesurée d'après les tours de la vis; dans la troisième C, la tension apparente correspondante, et dans la quatrième D, la même tension réduite sur une charge égale à 40,00.

Premier cas.

A.	B.		C.	D.
32,50	2,3	2,4	20,90	25,72
36,00	2,14	2,13	23,40	26,00
39,50	2,25	2,24	26,14	26,47
43,00	3,3	3,1	28,52	26,53
46,50	3,11	3,11	30,77	26,47
			Moyenne.......	26,49

Deuxième cas.

A.	B.		C.	D.
43,00	3,5	3,5	29,27	27,21
46,50	3,13	3,13	31,27	26,90
			Moyenne.......	27,05

Troisième cas.

A.	B.		C.	D.
43,00	3,4	3,5	29,15	27,12
46,50	3,13	3,13	31,27	26,90
			Moyenne.......	27,01

D'après la théorie, la tension apparente en M doit être

égale à $\frac{11 \times 40,00}{14,7} - 2,61 = 27,32$, ce qui correspond tout à fait avec les observations. Une seule chose pourrait paraître surprenante; c'est que l'expérience donne, dans le premier cas, un nombre plus petit que dans les deux autres, quoiqu'on se soit peut-être attendu au contraire. Cependant, si l'on considère qu'avant la division du fluide l'équilibre doit se former dans la tension, et que par cela il s'écoule un espace de temps, quelque petit qu'il soit, pendant lequel l'électricité de la batterie se perd déjà un peu, on comprendra que plus la quantité d'électricité qui passe sur le tonomètre est grande, plus l'établissement de l'équilibre est lent, de manière qu'on doit aussi rapprocher d'autant plus les boules l'une de l'autre pour obtenir sûrement l'étincelle. Au reste, moins la batterie est chargée d'électricité, plus les nombres deviennent petits, comme le montrent les deux premières observations. Après avoir allongé de 4 pieds le fil conducteur devant le déchargeur et l'avoir arrangé comme dans le premier cas, l'expérience donna :

A.	B.		C.	D.
43,00	2,7	2,7	21,77	20,25
46,50	2,14	2,15	23,64	20,34
			Moyenne.......	20,30

La théorie donne ici la tension apparente égale à

$$\frac{11 \times 40,00}{18,7} - 2,61 = 20,92,$$

nombre encore un peu plus fort. J'insérai ensuite au fil conducteur après le point M, deux branches, l'une de 4 pieds, l'autre de 8 pieds de long; puis un fil de 3 pieds allait jusqu'à l'extérieur de la batterie. Lorsque le conducteur en N était de 20 pieds de packfong, j'obtins :

A.	B.		C.	D.
43,00	2,11	2,9	22,52	20,94
46,50	2,19	2,18	24,64	21,20
			Moyenne.......	21,07

Les deux branches avaient une longueur équivalente de $2^{pi},77$; en conséquence, la théorie donne la tension apparente égale à $\frac{5,77 \times 40,00}{9,47} - 2,61 = 21,67$, valeur qui répond suffisamment à l'observation. Enfin je plaçai M au milieu de la branche de 8 pieds en conservant, du reste, le même ordre. Cela donna :

A.	B.		C.	D.
43,00	1,24	1,24	17,91	16,67
46,50	2,00	1,31	19,90	17,12
			Moyenne.......	16,90

La théorie exige $\frac{4,385 \times 40,00}{9,47} - 2,61 = 15,91$, nombre probablement trop petit, parce que les branches n'étaient pas assez éloignées l'une de l'autre.

Comme on le voit, les lois développées dans le § I sont aussi confirmées par ces expériences, qui indiquent directement la tension à chaque point du fil conducteur.

III. — *De la chaleur produite par le courant électrique sur un fil conducteur composé.*

La loi trouvée à la fin du § I sur la division du courant électrique sur un fil conducteur composé, c'est-à-dire sur un fil qui contient deux ou plusieurs branches, nous permet de développer immédiatement les formules qui déterminent la chaleur produite sur ce fil, en ayant égard aux faits découverts par M. Riess sur le fil conducteur simple.

Pour cela, quoique j'aie tiré des expériences mêmes, ces formules dont l'origine m'était alors inconnue, je veux prendre actuellement le chemin contraire et donner d'abord les formules, puis les observations qui les confirment. Pour un fil conducteur simple, M. Riess a trouvé les lois suivantes : 1° si l'on décharge une batterie d'un nombre quelconque s de bouteilles égales, dans laquelle on a introduit une quantité q d'électricité mesurée d'après une unité quelconque, on trouve, au moyen d'un thermomètre à air adapté au fil conducteur, une chaleur proportionnelle à $\frac{q^2}{s}$; 2° si l'on charge la même batterie également, mais qu'on allonge le fil conducteur par un fil quelconque, la chaleur est en raison inverse de $W_0 + w$, en tant que W_0 désigne la résistance du fil conducteur dans son premier état, et w la résistance du fil qui lui est ajouté. D'après ces deux lois réunies, il résulte la valeur θ du thermomètre de $\theta = \frac{\alpha q^2}{Ws}$, W exprimant ici la résistance de tout le fil conducteur, et α une constante, qui dépend des unités prises pour la mesure de la quantité d'électricité et de la résistance, de même que de la construction du thermomètre. De plus, M. Riess trouva, en troisième lieu, que si le même courant passe par le même fil conducteur, il y a sur chaque partie du fil une quantité de chaleur dégagée, proportionnelle à la résistance qu'offre la même partie. En comparant ces lois avec celles du courant galvanique, qui leur sont semblables, nous devons remarquer, avant tout, que celui-ci est déterminé, pour l'ordinaire, par la déviation de l'aiguille aimantée et exprimée par la formule

$$I = \frac{Ck}{W};$$

dans cette formule, I désigne l'intensité du courant, k la force électromotrice du couple galvanique (car un seul suffit ici), W la résistance de tout le circuit, et C de nou-

veau une constante, qui dépend des unités adoptées et du galvanomètre. Comme dans le courant électrique la tension de l'électricité, où a été amenée la batterie, répond évidemment à la force électomotrice k, et que cette tension augmentant proportionnellement avec la quantité q, est en raison inverse du nombre s des bouteilles qui forment la batterie, nous pouvons aussi exprimer par la formule

$$I = \frac{\beta q}{Ws}$$

(β étant une constante) l'intensité I du courant électrique, supposé qu'il fût également mesuré par la déviation de l'aiguille aimantée. Cependant, pour l'ordinaire, nous mesurons le courant électrique par la chaleur qu'il produit dans le thermomètre à air; c'est pourquoi nous tirons encore, des expériences faites sur le courant galvanique, le principe, que la quantité de la chaleur développée dans le thermomètre est proportionnelle au carré de l'intensité du courant et au temps t que dure le courant; par conséquent, proportionnelle à $I^2 t$. En transportant cette loi au fluide électrique, nous obtenons que les nombres θ du thermomètre doivent être égaux à

$$\alpha \left(\frac{q}{Ws}\right)^2 t.$$

Cette formule ne peut être employée immédiatement au calcul des observatious faites sur le courant électrique; car le temps t, qui s'y trouve, ne peut être, comme cela a lieu dans le courant galvanique, ni abrégé ni prolongé à volonté, en général ne peut être fixé d'une manière arbitraire; mais il dure aussi longtemps que le demandent la charge de la batterie et la résistance du fil conducteur. Nous devons donc chercher ici à déterminer de quelle manière le temps t dépend des circonstances sous lesquelles s'opère la décharge. D'abord il est tout naturel que le temps t se prolongera dans le même rapport que s'augmentera la résis-

tance du fil conducteur; ensuite il est également évident que le temps croît dans la même mesure que la quantité d'électricité de tension égale, par conséquent en rapport avec le nombre s des bouteilles qui forment la batterie; seulement, en troisième lieu, il paraît incertain, si le temps dépend aussi de la tension, d'où il suivrait que l'électricité d'une plus grande tension se mouvrait plus vite que celle d'une tension plus faible. Quant au courant galvanique, je crois que personne n'a fait dépendre la vitesse de ce courant de la force électromotrice, mais que celle-ci n'a été envisagée jusqu'ici que comme une condition de l'intensité du courant; si donc ce même rapport a lieu dans le fluide électrique, le temps I ne sera proportionnel qu'à sW, et la formule ci-dessus se réduira à $\theta = \frac{\alpha q^2}{Ws}$, comme elle a été amenée par les expériences mêmes. Il est donc, comme on vient de le voir, tout à fait nécessaire qu'on distingue également dans le courant électrique entre son intensité et son action calorifique, et qu'en désignant la première par I, et la seconde par θ, d'après les nombres du même thermomètre, on se garde bien de confondre les deux formules

$$I = \frac{\beta q}{Ws} \quad \text{et} \quad \theta = \frac{\alpha q^2}{Ws},$$

parce que, en prenant l'une de ces formules pour l'autre, on pourrait être amené à de fausses idées sur la valeur des faits qui se présenteront dans la suite.

Maintenant il ne sera pas difficile de déterminer la quantité de chaleur produite par le courant électrique sur un fil conducteur composé, pourvu que nous en connaissions d'abord l'intensité sur un pareil fil. Admettons, pour plus de simplicité, que la batterie, composée dans toutes les expériences du même nombre de bouteilles, est toujours chargée également; de plus, que d'abord le fil conducteur ne contient que deux branches et un tronc, comme nous

appellerons le fil simple qui forme le conducteur sans les branches. Alors, au moment de la décharge, le fluide passe en entier par le tronc et en partie par chacune des branches; son intensité I diminuera donc à mesure que tout le fil conducteur lui opposera une plus grande résistance. On pourra déterminer cette résistance si, d'après des observations précédentes, on connaît la résistance W du tronc, celle d'une branche w' et celle de l'autre branche w''; car, comme il est évident que le fluide qui passe en entier par le tronc en éprouve toute la résistance, on trouve aussitôt que W est un terme dans la résistance cherchée. Ensuite, si l'on désigne par a' la partie du courant qui passe par une des branches, et par a'' celle qui passe par l'autre branche (d'où $a' + a'' = 1$), la première partie du courant, diminuée dans le rapport de $1 : a'$, peut s'étendre en raison de $a' : 1$ sur la première branche, et n'éprouve en conséquence qu'une résistance égale à $a'w'$ diminuée dans le même rapport. Par cette résistance, cette première partie du courant agit sur le ralentissement de tout le courant; mais, comme elle n'est qu'une partie a', la résistance qu'elle oppose à tout le courant sera diminuée en raison de $a' = 1$, d'où elle sera égale à $a' \times a'w' = a'^2 w'$. Le même raisonnement s'applique également à l'autre partie a'' du courant, qui passe par la seconde branche; elle y trouve une résistance égale à $a''w'$, et opère, en conséquence, sur tout le courant un obstacle égal à $a''^2 w''$. Réunissant ces résistances, leur somme est égale à $W + a'^2 w' + a''^2 w''$; et si, de plus, l'intensité du courant a été égale à A, le fil conducteur offrant une résistance égale à 1, on aura pour le fil conducteur pourvu de deux branches : au tronc,

$$I = \frac{A}{W + a'^2 w' + a''^2 w''};$$

à la première branche :

$$I' = \frac{Aa'}{W + a'^2 w' + a''^2 w''},$$

à la seconde :

$$I'' = \frac{Aa''}{W + a'^2 w' + a''^2 w''}.$$

On obtiendra, de la même manière, l'intensité du courant électrique sur un fil conducteur qui contient plusieurs branches; car si celles-ci offrent des résistances égales à w', w'', w''',..., et sont traversées par des parties du courant égales à a', a'', a''',..., la résistance totale est égale à $W + a'^2 w' + a''^2 w'' + a'''^2 w''' + \ldots$, ou égale à $W + \Sigma a^2 w$, Σ désignant la somme des termes semblables $a'^2 w' + a''^2 w'' + a'''^2 w''' + \ldots$, et conséquemment l'intensité du courant sera déterminée sur le tronc par $I = \frac{A}{W + \Sigma a^2 w}$, et sur une branche quelconque, dont l'indice est n, par $I_n = \frac{Aa^n}{W + \Sigma a^2 w}$.

D'après cette solution, il reste à exprimer les valeurs de a', a'',..., par les branches mêmes. Pour cela, observons les résultats qu'ont fournis les expériences dans le premier paragraphe; d'après ces résultats, la division du courant sur deux branches étant en raison inverse de leurs longueurs équivalentes l' et l'', une partie du courant égale $\frac{\frac{1}{l'}}{\frac{1}{l'} + \frac{1}{l''}}$ traverse la première branche, et une partie égale $\frac{\frac{1}{l''}}{\frac{1}{l'} + \frac{1}{l''}}$ la seconde; ou si l'on pose, pour simplifier les formules,

$$\frac{1}{l'} = L' \quad \text{et} \quad \frac{1}{l''} = L'',$$

la valeur de a' est égale à $\frac{l'}{l' + l''}$, celle de a'' est égale à $\frac{l''}{l' + l''}$; par conséquent, les formules ci-dessus deviennent :

$$\text{(1)} \qquad I = \frac{A}{W + \left(\frac{L'}{L'+L''}\right)^2 w' + \left(\frac{L''}{L'+L''}\right)^2 w''},$$

$$\text{(2)} \qquad I' = \frac{A \frac{L'}{L'+L''}}{W + \left(\frac{L'}{L'+L''}\right)^2 w' + \left(\frac{L''}{L'+L''}\right)^2 w''},$$

$$\text{(3)} \qquad I'' = \frac{A \frac{L''}{L'+L''}}{W + \left(\frac{L'}{L'+L''}\right)^2 w' + \left(\frac{L''}{L'+L''}\right)^2 w''}.$$

Sur un conducteur à plusieurs branches il y aura, comme on se convaincra facilement, une division semblable d'après les longueurs équivalentes de ces branches; d'où, en désignant $L' + L'' + L''' + \ldots$ par ΣL, et par le même signe Σ la somme des termes $\left(\frac{l'}{\Sigma L}\right)^2 w' + \left(\frac{L''}{\Sigma L}\right)^2 w'' + \ldots$, on obtiendra sur le tronc et sur une branche quelconque, dont l'indice est n, l'intensité du courant électrique exprimée par les formules générales :

$$\text{(4)} \qquad I = \frac{A}{W + \Sigma \left(\frac{L}{\Sigma L}\right)^2 w}.$$

$$\text{(5)} \qquad I_n = \frac{A \frac{L^n}{\Sigma L}}{W + \Sigma \left(\frac{L}{\Sigma L}\right)^2 w},$$

Au moyen des formules que nous venons de trouver, on peut déterminer, sans beaucoup de difficulté, les valeurs que présenteront des thermomètres égaux, introduits en même temps dans le tronc et dans les branches; car, comme ces valeurs sont proportionnelles à $I^2 t$, et qu'ici où le nombre des bouteilles reste le même, le temps t ne dépend que de la résistance totale du fil conducteur, on obtient aussi-

tôt, si C désigne une nouvelle constante et que les longueurs équivalentes des thermomètres qui se trouvent dans les branches soient déjà comprises dans leurs longueurs équivalentes, on obtient, dis-je, comme formules générales pour le tronc et une branche quelconque, dont l'indice est n,

$$\theta = \frac{C}{W + \Sigma\left(\frac{L}{\Sigma L}\right)^2 w}, \tag{6}$$

$$\theta_n = \frac{C\left(\frac{L_n}{\Sigma L}\right)^2}{W + \Sigma\left(\frac{L}{\Sigma L}\right)^2 w}. \tag{7}$$

Pour le cas où le fil conducteur ne contient que deux branches, ces formules prennent pour les trois thermomètres égaux la forme suivante:

$$\theta = \frac{C}{W + \left(\frac{L'}{L'+L''}\right)^2 w' + \left(\frac{L''}{L'+L''}\right)^2 w''}, \tag{8}$$

$$\theta' = \frac{C\left(\frac{L'}{L'+L''}\right)^2}{W + \left(\frac{L'}{L'+L''}\right)^2 w' + \left(\frac{L''}{L'+L''}\right)^2 w''}, \tag{9}$$

$$\theta'' = \frac{C\left(\frac{L''}{L'+L''}\right)^2}{W + \left(\frac{L'}{L'+L''}\right)^2 w' + \left(\frac{L''}{L'+L''}\right)^2 w''}. \tag{10}$$

Toutefois, pour l'ordinaire, il ne serait pas à propos d'insérer au tronc et aux branches, traversées par des courants d'une intensité souvent bien différente, des thermomètres à air qui aient des fils égaux dans leurs boules, et donnent des nombres tout à fait correspondants; il vaut mieux choisir des thermomètres à fils inégaux, mais on doit alors, avant de commencer l'expérience, faire passer le même courant par

les thermomètres intercalés l'un derrière l'autre dans un fil conducteur simple, pour pouvoir comparer leurs indications. Le même procédé est encore nécessaire, lorsque les fils sont égaux dans les thermomètres, mais que ceux-ci ont une construction différente.

Les formules, développées jusqu'ici, n'expriment que les quantités de chaleur qu'indiquent les thermomètres, et non la quantité qui est dégagée dans tout le tronc et dans les branches entières. S'il s'agit donc de la trouver, on doit employer la troisième loi découverte par M. Riess, d'après laquelle, dans le même courant, la quantité de chaleur dégagée dans différentes parties du fil conducteur est proportionnelle à leur résistance, et y joindre la loi exposée pour le courant galvanique que la chaleur croît dans le rapport de I^2t. Les formules ci-dessus renferment déjà en elles la dernière condition; ainsi nous n'avons qu'à changer la constante C en une autre B, et à multiplier chacune des formules par la résistance qu'offre la partie du fil à laquelle répond chaque formule, pour obtenir la quantité de chaleur dégagée sur le tronc et les branches. Si nous désignons par T la quantité de chaleur sur le tronc, et par T', T'',... celles des branches, nous obtenons:

$$T = \frac{BW}{W + \Sigma\left(\frac{L}{\Sigma L}\right)^2 w},$$

$$T' = \frac{B\left(\frac{L'}{\Sigma L}\right)^2 w'}{W + \Sigma\left(\frac{L}{\Sigma L}\right)^2 w}.$$

. . . .

et l'addition de toutes ces équations nous offre, comme on peut facilement s'en convaincre,

$$\Sigma T = B.$$

Il suit de là le résultat bien remarquable, que la même

batterie, chargée également, produit la même quantité de chaleur, de quelque manière qu'on change le fil conducteur.

Je ne m'arrêterai pas davantage à présent pour montrer en particulier comment, dans une batterie composée de plus ou moins de bouteilles et chargée d'une quantité d'électricité différente, on détermine les constantes A et C par q et s, cette détermination pouvant être sans cela facilement déduite de ce qui a été dit plus haut sur le simple fil conducteur; mais je passerai immédiatement aux expériences que j'ai faites pour trouver et confirmer les formules communiquées.

Dans mes expériences je me servis de deux thermomètres à air qui avaient la même construction et qui contenaient aussi des fils de platine égaux. On trouve les parties les plus essentielles de l'un d'eux représentées dans la *fig.* 6. Le cylindre de verre AB de 2 pouces de large et de 8 $\frac{1}{2}$ pouces de haut est uni à un tube calibré C de 22 pouces de long et de $0^{lig},692$ de diamètre intérieur terminé par un vase découvert D de 9 lignes de diamètre. Le cylindre AB est fermé hermétiquement par le couvercle de laiton EF; de même hermétiquement mastiqués dans des tubes de verre, passent par des tubulures les deux fils de cuivre épais GH et IK, pourvus en haut des écrous I et G pour y assujettir d'autres fils L et M, et en bas, dans le cylindre des écrous H et K, pour y affermir le fil mince de platine de 16 pouces de long roulé en forme d'hélice. Dans les expériences, le tube C se trouve un peu incliné, de manière que l'alcool versé en D ne remonte pas jusqu'en dedans du cylindre; ensuite, lorsque le fluide électrique passe de L en M par le fil de platine, il refoule l'alcool dans le tube, et, en observant ce déplacement sur l'échelle divisée par degrés qui se trouve au-dessous de C, on y obtient une mesure pour la chaleur dégagée par le courant. Ayant trouvé plus tard que la chaleur dégagée dans le cylindre ne s'échappait que len-

tement et empêchait le liquide de reprendre son véritable niveau, je fis faire au couvercle EF un petit trou fermé hermétiquement au moyen d'une soupape munie d'un ressort, de manière que je pusse, après chaque observation, introduire de l'air dans le cylindre et ramener le liquide dans sa position naturelle. Après cet arrangement, l'instrument donne les résultats les plus satisfaisants.

Les expériences se rangèrent en deux grandes classes: dans la première, je cherchai à déterminer les divisions du courant sur les deux branches; dans l'autre, l'effet de tout le courant sur le tronc, où je n'examinai qu'une des deux branches à la fois. Pour terminer, je formai encore un fil conducteur de trois branches.

A. — *Expériences servant à confirmer les formules*

$$(9) \qquad \theta' = \frac{C\left(\frac{L'}{L'+L''}\right)^2}{W + \left(\frac{L'}{L'+L''}\right)^2 w' + \left(\frac{L''}{L'+L''}\right)^2 w''};$$

$$(10) \qquad \theta'' = \frac{C\left(\frac{L''}{L'+L''}\right)^2}{W + \left(\frac{L'}{L'+L''}\right)^2 w' + \left(\frac{L''}{L'+L''}\right)^2 w''}.$$

Dans les expériences qui servaient à confirmer les formules (9) et (10), le fil conducteur de la batterie formée de quatre bouteilles avait l'arrangement représenté dans la *fig.* 7. Le tronc se composait depuis I de l'intérieur de la batterie jusqu'à F de 2 pieds 11 pouces de fil de laiton d'une ligne de diamètre, interrompu par les deux boules C et D d'un excitateur ordinaire, et d'un petit fil de cuivre de $0^{lig},279$ de diamètre; puis de L jusqu'à l'extérieur E de la batterie de 21 pouces de fil de cuivre également de $0^{lig},279$ de diamètre et de 3 pieds 9 pouces de cuivre de $0^{lig},50$ de diamètre. Les deux branches FGOL et FHPL contenaient chacune, outre les thermomètres O et G, 27 pouces de fil

de cuivre de la première sorte. Dans ce conducteur se trouvaient, de plus, intercalées plusieurs capsules de verre bien isolées et remplies de mercure, telles que F, G, H, M, pour pouvoir insérer de nouveaux fils. J'employai, pour ces fils, ceux qui sont nommés dans la table suivante, et que je désignerai, dans la suite, par les signes ajoutés entre parenthèses :

1°. Fil de cuivre de $0^{lig},279$ de diam. (c) : résist. de $4^{pi} = 0,075$;
2°. Fil de packfong de $0^{lig},126$ de diam. (p') : résist. de $4^{pi} = 1,55$;
3°. Fil de packfong, autre sorte (p'') : résistance de $4^{pi} = 1,67$;
4°. Fil de fer de $0^{lig},428$ de diam. (f') : résistance de $4^{pi} = 0,299$;
5°. Fil de fer de $0^{lig},242$ de diam. (f'') : résistance de $4^{pi} = 0,409$;
6°. Fil de platine de $0^{lig},061$ de diam., 16 pouces de long (Pl. A) : résistance $= 1,00$;
7°. Fil de platine de $0^{lig},061$ de diam., 32 pouces de long (Pl. B) : résistance $= 2,00$.

J'avais pris pour unité de la résistance celle du fil conducteur après avoir éloigné une des branches. De cette unité, il se trouva sur le tronc une résistance de 0,16, et sur la branche, une de 0,84.

Je n'ai plus maintenant qu'à dire quelques mots sur la forme des fils et la méthode du calcul. Pour le premier point, les fils étaient enroulés en hélice, afin de pouvoir les insérer facilement; mais ils amenaient par là un dérangement particulier qui, heureusement, ne changea rien à l'usage des formules : ce fut que les spires, quoique assez éloignées les unes des autres, agissaient un peu comme inducteurs, et causaient des courants induits dont je ne reconnus l'existence que dans la suite; peut-être changeaient-ils aussi l'équilibre de la tension. A cause de ces deux circonstances, les fils ne montraient pas les mêmes valeurs de longueurs équivalentes qu'ils auraient eues, s'ils avaient été étendus en lignes droites. Mais pendant que chaque partie d'un fil opérait une action égale, les fils

plus longs augmentaient aussi en raison directe de leur longueur, et les rapports réciproques restaient, en général, les mêmes. Cependant j'ai cru devoir mentionner ce fait, afin qu'il ne s'élevât aucun doute sur la validité des nombres que j'ai trouvés ici. Quant au second point, savoir le calcul, je déterminai, dans chaque expérience pour laquelle les boules C et D étaient placées à une distance convenable, la constante C, qui exprime les degrés que donnerait le thermomètre pour une résistance égale à 1 du fil conducteur, tantôt d'après une seule observation (valeur moyenne tirée de quatre nombres chaque), tantôt d'après toutes les observations, comme on le verra dans les tables mêmes. Je pris ensuite les longueurs équivalentes de fils inégaux, proportionnelles à leurs longueurs nouvelles, quoique je ne tinsse pas compte des petites variations de leurs valeurs résultant des différents arrangements des deux branches; car, si je ne voulais pas fixer les valeurs d'une manière arbitraire, je devais, en effet, me contenter de cette approximation.

Voici maintenant les expériences. Dans la première, le fil conducteur resta comme dans la *fig.* 7; j'observai d'abord le thermomètre d'une des branches pendant que l'autre était éloignée ou ouverte; je fermai ensuite les deux branches, et je pris la moyenne des degrés que marquaient les thermomètres. Dans la dernière observation, 4 pieds de p'' étaient ajoutés au tronc. Les formules (9) et (10) deviennent ici

$$\theta' = \theta'' = \frac{\frac{1}{4}C}{W + \frac{1}{4}w' + \frac{1}{4}w''},$$

où $w' = w'' = 0{,}84$; et, pour les quatre premières observations, $W = 0{,}16$; pour la dernière, $W = 1{,}83$. Quant à la constante C, le thermomètre donna T degrés, lorsqu'une des branches était ouverte; d'où

$$T = \frac{C}{W + w'},$$

et, par conséquent,

$$\theta' = \theta'' = \frac{T(W + w')}{W + \frac{1}{2}w'}.$$

Première expérience.

NUMÉROS.	T.	$\theta' = \theta''$ observé.	$\theta' = \theta''$ calculé.
1.	22,59	9,98	9,74
2.	24,75	10,45	10,67
3.	24,66	10,38	10,63
4.	47,56	20,74	20,50
5.	19,50	5,53	5,54

Dans les expériences suivantes, j'ajoutai aux branches des fils différents, jusqu'à ce que les deux thermomètres indiquassent à peu près les mêmes degrés, et je déterminai C d'après la première observation, dans laquelle les deux branches étaient tout à fait égales et fermées. Les branches étant aussi, dans ces cas, d'une égale longueur équivalente, nous devons faire, dans les formules, L' égal à L'', d'où elles se réduisent de nouveau à la formule plus simple

$$\theta' = \theta'' = \frac{\frac{1}{4}C}{W + \frac{1}{4}w' + \frac{1}{4}w''}.$$

On trouve, dans les colonnes désignées par B' et B'', les fils qui ont été ajoutés à la première et à la seconde branche; quand il y a un zéro, elles sont restées dans leur forme primitive d'après la *fig.* 7. W est partout égal à 0,16, et les valeurs de w' et de w'' sont apposées à leurs branches dans des colonnes particulières.

B'.	w'.	θ' observé.	B''.	w''.	θ'' observé.	$\theta' = \theta''$ calculé.
Deuxième expérience.						
pieds 0	0,84	17,00	pieds 0	0,84	17,00	17,00
4 de p'.........	2,39	9,69	8 de c...........	0,99	10,56	"
4 de p'.........	2,39	9,87	9 de c...........	1,01	10,00	9,83
8 de p'.........	3,94	6,62	20 de c...........	1,21	6,94	6,81
Troisième expérience.						
8 de c............	0,99	19,40	8 de c...........	0,99	19,40	19,40
8 de c. + 4pi de p'	2,54	12,97	17 de c...........	1,16	12,16	"
8 de c. + 4 de p'.	2,54	12,56	16 de c...........	1,14	12,66	12,50
8 de c. + 8 de p'.	4,09	9,18	26 de c...........	1,33	10,05	"
8 de c. + 8 de p'.	4,09	9,62	28 de c...........	1,36	9,22	9,09
Quatrième expérience.						
0	0,84	17,62	0	0,84	17,62	17,62
Pl. A............	1,84	11,44	4 de c...........	0,91	12,94	"
Pl. A............	1,84	12,18	5 de c......... .	0,93	11,50	11,98
Pl. B............	2,84	9,37	10 de c..........	1,03	9,50	9,08
Pl. A + B.......	3,84	7,75	16 de c...........	1,14	8,31	"
Pl. A + B.......	3,84	8,06	17 de c...........	1,16	7,75	7,27
Cinquième expérience.						
0	0,84	20,64	0	0,84	20,64	20,64
4 de f'..........	1,14	17,48	5 de c...........	0,93	18,06	17,73
8 de f'..........	1,44	15,62	11 de c...........	1,05	15,55	15,64
12 de f'..........	1,74	13,84	17 de c...........	1,16	13,90	13,69
Sixième expérience.						
0	0,84	24,75	0	0,84	24,75	24,75
4 de f''..........	1,25	20,16	6 de c...........	0,95	20,37	20,30
8 de f''..........	1,66	16,31	12 de c...........	1,06	17,34	17,23
12 de f''..........	2,07	14,42	19 de c...........	1,19	14,28	14,89

Septième expérience.						
B′.	w'.	θ' observé.	B″.	w'.	θ'' observé.	$\theta' = \theta''$ calculé.
pieds o	0,84	22,94	pieds o	0,84	22,94	22,94
4 de p' + 3pi de c.	2,45	11,78	8 de f''	[illegible],66	12,09	11,80
8 de p'...........	3,94	8,87	12 de f'' + 3pi de c.	2,[illegible]3	9,09	"
8 de p'...........	3,94	8,87	12 de f'' + 4 de c.	2,15	8,75	8,46
8 de p'...........	3,94	6,87	Pl. A. + B + 4 de c.	2,91	6,78	7,11

Après cela, le tronc restant dans son arrangement ordinaire, je fis d'autres expériences, dans lesquelles j'allongeai peu une des branches par des fils de la même espèce, afin que le fluide se jetât sur l'autre plus petite, offrant quelquefois une plus grande résistance. Dans ces expériences, il s'agissait surtout de connaître les longueurs équivalentes des branches, savoir des thermomètres et des fils qui y étaient ajoutés; je les calculai donc d'après toutes les observations, en regardant comme fil normal celui qui se trouvait dans une branche sous différentes longueurs. Par exemple, j'avais ajouté, dans la huitième expérience suivante, un fil de cuivre à la seconde branche; or, en désignant maintenant, comme je le ferai aussi dans la suite, par B la longueur équivalente de la première branche qui ne contenait que le thermomètre et 27 pouces de fil de cuivre, et en réduisant ici cette longueur au fil de cuivre, les longueurs équivalentes des branches, dans les cinq observations, étaient :

$$
\begin{array}{ll}
B & B, \\
B & B + 4, \\
B & B + 8, \\
B & B + 12, \\
B & B + 16.
\end{array}
$$

Mais les chaleurs développées θ' et θ'' devaient être, d'après

les formules (9) et (10), dans le rapport comme $B^2 : B^2$, comme $(B+4)^2 : B^2$, comme $(B+8)^2 : B^2$, etc. En conséquence, si l'on remplace θ' et θ'' par les nombres observés, on obtient les équations

$$\begin{aligned} 0,59B &= 4, \\ 1,13B &= 8, \\ 1,73B &= 12, \\ 2,25B &= 16, \end{aligned}$$

et de là, en moyenne, la longueur équivalente de $B = 7,00$ de fil de cuivre. Quant à la constante C, je la tirai de chaque double observation faite sur le même arrangement des branches, d'après l'équation

$$\theta' + \theta'' = \frac{C\dfrac{L'^2 + L''^2}{(L' + L'')^2}}{W + \left(\dfrac{L'}{L' + L''}\right)^2 w' + \left(\dfrac{L''}{L' + L''}\right)^2 w''},$$

et, avec sa valeur moyenne, je calculai toutes les observations d'après les formules (9) et (10).

Huitième expérience.

B'.	w'.	θ' observé.	θ' calculé.	B''.	w''.	θ'' observé.	θ'' calculé.	C calculé.
pieds 0	0,84	17,39	17,16	pieds 0	0,84	17,39	17,16	40,3
0	0,84	24,66	24,31	4 de c....	0,91	9,78	9,84	40,1
0	0,84	28,53	28,44	8 de c....	0,99	6,16	6,19	39,9
0	0,84	30,81	31,01	12 de c....	1,06	4,12	4,20	39,5
0	0,84	32,03	32,78	16 de c....	1,14	3,03	3,04	39,0
						Moyenne.....		39,8

$B = 7^{pi},00$ de c.

Neuvième expérience.

B'.	w'.	θ' observé.	θ' calculé.	B''.	w''.	θ'' observé.	θ'' calculé.	C calculé.
pieds 4 de c.....	0,91	21,25	20,91	pieds 4 de c....	0,91	21,25	20,91	52,5
4 de c.....	0,91	27,37	26,91	8 de c....	0,99	14,56	14,42	52,7
4 de c.....	0,91	31,06	31,03	12 de c....	1,06	10,18	10,41	51,5
4 de c.....	0,91	33,59	33,98	16 de c....	1,14	7,78	7,77	51,3
4 de c.....	0,91	35,62	36,11	20 de c....	1,21	6,06	6,00	51,2
						Moyenne....		51,8

B = 7^{pi},00 de c.

Dixième expérience.

B'.	w'.	θ' observé.	θ' calculé.	B''.	w''.	θ'' observé.	θ'' calculé.	C calculé.
pieds 0	0,84	19,75	19,48	0	0,84	19,75	19,48	45,8
0	0,84	27,72	28,13	4 de *p'*...	2,39	5,12	4,77	45,1
0	0,84	31,97	32,35	8 de *p'*...	3,94	2,31	2,18	45,6
0	0,84	34,53	35,04	12 de *p'*...	5,49	1,09	1,25	44,3
						Moyenne.....		45,2

B = 2^{pi},8 de *p'*.

Onzième expérience.

B'.	w'.	θ' observé.	θ' calculé.	B''.	w''.	θ'' observé.	θ'' calculé.	C calculé.
4 de *p'*....	2,39	14,15	14,15	4 de *p'*...	2,39	14,15	14,15	76,9
4 de *p'*....	2,39	17,50	17,48	8 de *p'*...	3,94	7,06	7,08	76,9
4 de *p'*....	2,39	19,50	19,48	12 de *p'*...	5,49	4,25	4,27	76,9
						Moyenne.....		76,9

B = 3^{pi},00 de *p'*.

Douzième expérience.

B'.	w'.	θ' observé.	θ' calculé.	B''.	w''.	θ'' observé.	θ'' calculé.	C calculé.
0	0,84	17,75	17,72	0	0,84	17,75	17,72	41,2
4 de *p'*...	2,39	4,81	4,83	0	0,84	24,47	25,29	40,0
4 de *p'*...	2,39	10,18	9,80	8 de c....	0,99	11,10	11,37	41,3
4 de *p'*...	2,39	12,10	11,97	16 de c....	1,14	6,00	5,95	41,5
4 de *p'*...	2,39	13,09	13,19	24 de c....	1,29	3,94	3,62	41,6
						Moyenne.....		41,1

B = 7^{pi},12 de c. 4^{pi} de *p'* = 9^{pi},18 de c.

Treizième expérience.

B′.	w'.	θ′ observé.	θ′ calculé.	B″.	w''.	θ″ observé.	θ″ calculé.	C calculé
0	0,84	17,12	17,24	0	0,84	17,12	17,24	39,7
Pl. B.. ..	2,84	4,12	4,20	pieds 0	0,84	23,58	24,20	39,1
Pl. B.....	2,84	8,62	8,31	8 de c.....	0,99	10,62	11,21	39,4
Pl. B.....	2,84	10,21	9,99	16 de c.....	1,14	5,87	5,85	40,6
Pl. B.....	2,84	10,97	10,98	24 de c.....	1,29	3,87	3,58	40,7
Pl. B.....	2,84	11,40	11,49	32 de c.....	1,44	2,69	2,39	40,6
						Moyenne.......		40,0

B = 7pi,5 de c. Pl. B = 10pi,5 de c.

Quatorzième expérience.

B′.	w'.	θ′ observé.	θ′ calculé.	B″.	w''.	θ″ observé.	θ″ calculé.	C calculé
pieds 0	0,84	23,20	24,00	0	0,84	23,20	24,00	53,8
4 de p'....	2,39	7,03	7,19	0	0,84	31,97	32,41	54,8
4 de p'....	2,39	11,60	10,83	4 de f''....	1,25	16,94	16,85	57,4
4 de p'....	2,39	13,43	13,05	8 de f''....	1,66	10,44	10,18	57,2
4 de p'....	2,39	14,91	14,65	12 de f''....	2,07	6,94	6,35	56,6
4 de p'....	2,39	15,72	15,68	16 de f''....	2,48	4,91	4,87	55,9
4 de p'....	2,39	16,50	16,86	20 de f''....	2,89	3,69	3,74	54,6
						Moyenne.......		55,7

B = 5pi,7 de f''. 4 pieds de p' = 6pi,4 de f''.

Ces expériences suffiront pour prouver les formules, tant que W est égal à 0,16; il ne reste donc qu'à allonger encore le tronc. Pour cela, j'y insérai le fil de platine A pour les deux expériences suivantes, et pour les deux dernières, 2 pieds de p''; je trouvai :

Quinzième expérience.

B'	w'.	θ' observé.	θ' calculé.	B''.	w''.	θ'' observé.	θ'' calculé.	C calculé.
0	0,84	16,26	16,17	pieds 0	0,84	16,26	16,17	102,6
0	0,84	23,31	22,63	4 de c....	0,91	10,34	10,32	104,2
0	0,84	27,37	27,46	8 de c....	0,99	7,12	7,12	101,8
0	0,84	30,69	30,67	12 de c...	1,06	5,12	5,13	102,0
0	0,84	32,59	33,42	16 de c....	1,14	3,84	3,91	99,5
						Moyenne.........		102,0

$B = 8^{pi},3$ de c.

Seizième expérience.

B'	w'.	θ' observé.	θ' calculé.	B''.	w''.	θ'' observé.	θ'' calculé.	C calculé.
0	0,84	17,19	17,45	0	0,84	17,19	17,45	108,4
0	0,84	30,66	30,23	4 de p'...	2,39	5,62	5,55	111,6
0	0,84	36,81	36,59	8 de p'....	3,94	2,75	2,72	110,8
0	0,84	40,47	40,66	12 de p'....	5,49	1,62	1,62	109,6
						Moyenne.........		110,1

$B = 3^{pi},0$ de p'.

Dix-septième expérience.

B'	w'.	θ' observé.	θ' calculé.	B''.	w''.	θ'' observé.	θ'' calculé.	C calculé.
0	0,84	12,80	12,66	0	0,84	12,80	12,66	72,0
0	0,84	18,53	18,42	4 de c.....	0,91	7,50	7,46	72,0
0	0,84	22,65	22,43	8 de c.....	0,99	4,75	4,88	71,6
0	0,84	25,03	25,18	12 de c.....	1,06	3,44	3,42	71,2
0	0,84	26,91	27,16	16 de c.....	1,14	2,37	2,51	70,6
						Moyenne.........		71,5

$B = 7^{pi},00$ de c.

Dix-huitième expérience.

B'	w'.	θ' observé.	θ' calculé.	B''.	w''.	θ'' observé.	θ'' calculé.	C calculé.
pieds 0	0,84	12,49	12,79	0	0,84	12,49	12,79	70,8
4 de p'...	2,39	3,46	4,29	0	0,84	21,91	21,52	69,9
4 de p'...	2,39	7,12	7,07	4 de f''....	1,25	13,00	13,01	72,6
4 de p'...	2,39	9,87	9,65	8 de f''....	1,66	8,50	8,35	74,0
4 de p'...	2,39	11,72	11,46	12 de f''....	2,07	5,94	5,72	74,5
4 de p'...	2,39	13,00	12,80	16 de f''....	2,48	4,18	4,16	73,5
						Moyenne.........		72,5

$B = 5^{pi},2$ de f'', 4^{pi} de $p' = 6^{pi},6$ de f''.

Si l'on jette un coup d'œil sur toutes les expériences que je viens de communiquer, je crois qu'on trouvera que les nombres calculés répondent suffisamment aux observations, surtout si l'on considère que les longueurs équivalentes des fils dans les différents arrangements des branches sont un peu variables, et non pas d'une valeur constante, comme je devais le supposer.

B. — *Expériences faites pour confirmer les formules*

$$\theta = \frac{C}{W + \left(\frac{L'}{L' + L''}\right)^2 w' + \left(\frac{L''}{L' + L''}\right)^2 w''}, \tag{8}$$

$$\theta' = \frac{C\left(\frac{L'}{L' + L''}\right)^2}{W + \left(\frac{L'}{L' + L''}\right)^2 w' + \left(\frac{L'}{L' + L''}\right)^2 w''}. \tag{9}$$

Dans ce genre d'expériences, j'ai surtout visé à amener, par l'arrangement des deux branches, une diminution de la chaleur développée sur le tronc, parce que l'effet du courant électrique se distingue principalement, par cette circonstance, de celui du courant galvanique. Car, si l'on ajoute dans le dernier courant deux branches à une plaque quelconque du circuit, et qu'on détermine la chaleur dégagée sur le tronc, d'abord avec une seule branche, l'autre étant ouverte, puis avec les deux branches, on obtient toujours comme on le sait, dans le dernier cas, une chaleur d'un plus haut degré; dans le courant électrique, au contraire, où la division ne dépend point de la résistance, mais de la longueur équivalente des branches, il peut arriver qu'on trouve sur le tronc une chaleur plus faible, lorsque le fil conducteur est muni de ses deux branches. Pour le démontrer, soit supposée la résistance d'une branche égale à w', et de l'autre égale à w'', celle du tronc égale à W; si l'on éloigne d'abord la première branche, afin que le courant passe par le tronc, et par la seconde branche qui, en-

semble, ne forment à présent qu'un fil conducteur simple, on a, sur le tronc,

$$\theta = \frac{C}{W + w''};$$

puis, si l'on ferme aussi la première branche, afin que le courant se divise, on a également, sur le tronc,

$$\theta = \frac{C}{W + \left(\frac{L'}{L' + L''}\right)^2 w' + \left(\frac{L''}{L' + L''}\right)^2 w''},$$

et le dernier résultat est plus petit, dès que

$$\left(\frac{L'}{L'+L''}\right)^2 w' + \left(\frac{L''}{L'+L''}\right)^2 w'' > w''.$$

Cette condition, qui peut être rendue par la forme

$$w' > w'' + \frac{2L''}{L'} w'',$$

sera remplie, si la première branche a une petite longueur équivalente, et offre néanmoins une grande résistance; la seconde branche, au contraire, n'opère qu'une faible résistance, tandis que sa longueur équivalente est grande; en d'autres termes, cette condition sera remplie si la première des deux branches est formée par un fil mince et mauvais conducteur, la seconde par un fil long, fort et bon conducteur. Je composai donc une des branches au moyen d'un thermomètre et d'un fil de packfong (p''), l'autre d'un fil de cuivre de $0^{lig},279$ de diamètre; le tronc contenait, outre le second thermomètre, quelques fils forts pour l'union nécessaire. En prenant la résistance du tronc pour unité de la résistance, je trouvai :

La résistance de 8 pieds de cuivre (c) est de 0,177; la résistance de 4 pieds de packfong (p') est de 1,83; et la résistance de la première branche, dans son arrangement mentionné ci-dessus, que je désignerai par D, est de 1,60. Par les deux premières expériences, je cherchai à détermi-

ner les longueurs équivalentes des fils employés, en prenant la longueur du fil de cuivre comme mesure normale; pour cela la première branche B′ contenait une fois D seulement, l'autre fois D et 4 pieds de p', tandis que l'autre branche B″ était successivement allongée par des fils de cuivre. Les observations sur le tronc et la première branche donnèrent, d'après les formules (8) et (9), de pareilles équations :

$$\theta : \theta' = (L' + L'')^2 : L'^2,$$

ou

$$\theta : \theta' = (l' + l'')^2 : l''^2,$$

dans lesquelles l' et l'' sont les longueurs équivalentes de la première ou de la seconde branche. Comme la dernière n'est composée que du fil de cuivre dont la longueur sert de mesure, on peut trouver la longueur inconnue l' d'après

$$l' = \left(\sqrt{\frac{\theta}{\theta'}} - 1\right) l''.$$

Première expérience.

B′.	w'.	θ' observé.	θ' calculé.	B″.	w''.	θ observé.	θ calculé.
Ouverte.....	″	″	″	pieds 8 de c...	0,177	27,43	27,43
D...........	1,60	6,18	6,21	8 de c...	0,177	21,47	21,53
D...........	1,60	8,94	8,69	16 de c...	0,354	18,21	17,80
D........ .	1,60	10,01	9,78	24 de c...	0,531	16,67	16,21

C = 32,28. W = 1,00.

De ces observations il suit :

$$l' = 6{,}92^{\text{pi}} \text{ de c},$$
$$l' = 6{,}83,$$
$$l' = 6{,}96,$$

en moyenne l', ou la longueur équivalente de D = 6^{pi},9 de cuivre.

Deuxième expérience.

B′.	w'.	θ' observé.	θ' calculé.	B″.	w''.	θ observé.	θ calculé.
				pieds			
Ouverte......	"	"	"	8 de c...	0,177	23,50	23,50
D + 4pi de p'.	3,43	2,42	2,39	8 de c...	0,177	18,25	18,09
D + 4 de p'.	3,43	3,48	3,69	16 de c...	0,354	13,37	13,85
D + 4 de p'.	3,43	4,22	4,30	24 de c...	0,531	11,90	11,96
D + 4 de p'.	3,43	4,55	4,67	32 de c...	0,708	10,62	10,74

C = 27,65. W = 1,00.

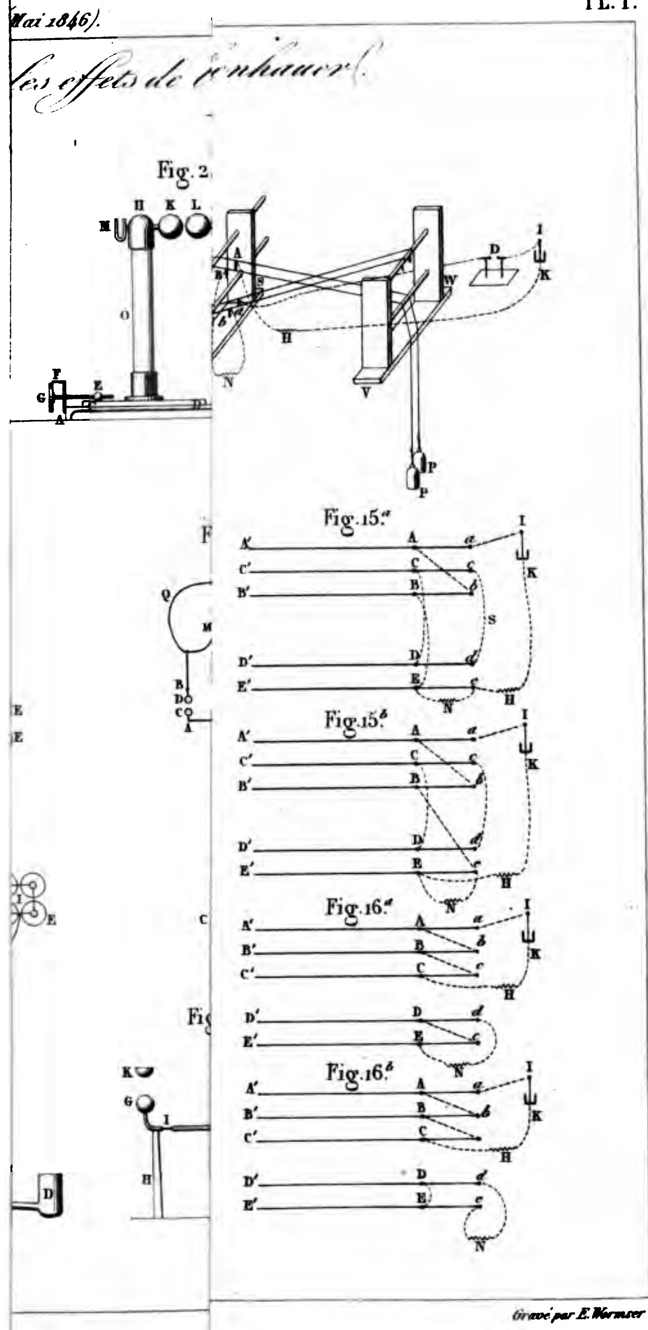
Il en résulte la longueur équivalente de D + 4 pieds de p', ou

$$l' = 13{,}97^{\text{pi}} \text{ de c},$$
$$l' = 15{,}36,$$
$$l' = 16{,}30,$$
$$l' = 16{,}89.$$

Quoique les observations dans cette expérience soient peut-être un peu troublées à cause des petites valeurs de θ', et que le calcul soit devenu un peu incertain, cependant il est évident que la longueur équivalente de la première branche devient plus grande si l'autre est formée d'un fil plus long, comme l'exige aussi la théorie établie dans le premier paragraphe. Par cette raison, je ne peux m'empêcher ici de regarder la longueur équivalente de la première branche comme variable dans les trois expériences suivantes, et je prendrai dans l'une D = 7 pieds de c, D + 4 pieds de p' = 16pi,5, D + 8 pieds de p' = 26 pieds, D + 12 pieds de p' = 36 pieds; dans les deux autres, D = 7 pieds, D + 4 pieds de p' = 16 pieds, D + 8 pieds de p' = 25 pieds. C'est avec ces valeurs que j'ai calculé les tables suivantes :

(Mai 1846).

PL. 1.



Gravé par E. Wormser.

Troisième expérience.

B′.	w′.	θ′ observé.	θ′ calculé.	B″.	w″.	θ observé.	θ calculé.
Ouverte.	"	"	"	pieds 32 de c..	0,71	21,50	21,50
D.	1,60	11,03	11,77	32 de c..	0,71	17,58	17,49
D + 4pi de p′..	3,43	6,00	6,21	32 de c..	0,71	13,66	14,26
D + 8 de p′..	5,26	4,10	4,07	32 de c..	0,71	13,00	13,38
D + 12 de p′..	7,09	2,86	2,93	32 de c..	0,71	12,56	13,25

C = 36,72. W = 1,00.

Quatrième expérience.

B′.	w′.	θ′ observé.	θ′ calculé.	B″.	w″.	θ observé.	θ calculé.
Ouverte.	"	"	"	24 de c..	0,53	18,08	18,08
D.	1,60	7,83	8,34	24 de c..	0,53	14,25	13,92
D + 4pi de p′...	3,43	4,07	4,28	24 de c..	0,53	12,03	11,91
D + 8 de p′...	5,26	2,60	2,77	24 de c..	0,53	11,75	11,51

C = 27,65. W = 1,00.

Cinquième expérience.

B′.	w′.	θ′ observé.	θ′ calculé.	B″.	w″.	θ observé.	θ calculé.
Ouverte.	"	"	"	24 de c..	0,53	18,34	18,34
D.	1,60	8,75	9,35	24 de c..	0,53	15,50	15,58
D + 4pi de p′...	3,43	4,87	5,06	24 de c..	0,53	13,91	14,07
D + 8 de p′...	5,26	3,20	3,29	24 de c..	0,53	13,50	13,71

C = 47,33. W = 2,05.

Dans la dernière expérience, la résistance du tronc a été augmentée de 1,05 par l'addition d'un fil de packfong.

C. — *Fil conducteur avec trois branches.*

Je n'ai fait qu'une seule expérience avec un fil conducteur muni de trois branches, parce qu'elle montrait déjà

suffisamment la justesse des formules générales. Le tronc était arrangé comme dans les quatre premières expériences que je viens de communiquer. La première branche B′ contenait la constante D, et, de plus, un fil de packfong (p'); la seconde B″ était également formée de fil de packfong (p'), et la troisième B‴ de 24 pieds de cuivre. Comme longueurs équivalentes, réduites au fil de cuivre, je fis $D = 7$ pieds, $D + 4$ pieds de $p' = 16$ pieds, $D + 8$ pieds de $p' = 26$ pieds; et, dans la seconde branche, 8 pieds de $p' = 15$ pieds et 12 pieds de $p' = 24$ pieds, parce que ces derniers fils étaient tendus plus directement, et par cela d'une moindre longueur équivalente. L'expérience donna :

B′.	w'.	θ' obs.	θ' calculé	B″.	w''.	B‴.	w'''.	θ obs.	θ calculé
						pieds			
Ouverte.	"	"	"	Ouverte.	"	24 de c.	0,53	19,05	19,05
D.	1,60	8,92	8,80	Ouverte.	"	24 de c.	0,53	14,58	14,68
D.	1,60	5,09	5,13	8pi de p'.	3,66	24 de c.	0,53	16,21	16,29
D.	1,60	6,06	6,32	12 de p'.	5,49	24 de c.	0,53	16,04	15,84
D+4pi de p'.	3,43	4,59	4,54	Ouverte.	"	24 de c	0,53	12,21	12,60
D+4 de p'.	3,43	1,98	1,91	8 de p'.	3,66	24 de c.	0,53	14,02	14,24
D+4 de p'.	3,43	2,57	2,53	12 de p'.	5,49	24 de c.	0,53	13,46	13,74
D+8 de p'.	5,26	0,92	0,93	8 de p'.	3,66	24 de c.	0,53	13,50	13,52
Ouverte.	"	"	"	8 de p'.	3,66	24 de c.	0,53	11,85	11,82
Ouverte.	"	"	"	12 de p'.	5,49	24 de c.	0,53	11,82	11,65

$C = 29,16$. $W = 1,00$.

Comme on le voit, les valeurs calculées répondent tout à fait aux observations.

IV. — *Des courants induits électriques.*

On a expliqué jusqu'ici, comme on le sait, les courants induits électriques qu'excite le courant de la batterie dans un circuit rapproché du fil conducteur, d'après les principes établis pour les courants induits galvaniques. Comme cette

manière d'envisager les faits offre encore beaucoup de difficultés à combattre, j'ose espérer qu'on ne refusera pas quelque attention à une autre opinion, et je me hasarde à communiquer quelques expériences que j'ai faites sur ces courants, expériences qui, quoiqu'elles n'aient pas encore conduit à des résultats tout à fait décisifs, me paraissent néanmoins confirmer en quelque manière mon idée, savoir, que les courants induits électriques dépendent des courants inducteurs, en tant que ceux-ci sont doués d'une certaine tension, ou que l'électricité sur le fil conducteur se trouve encore en partie dans un état libre. D'après cela, le rapport du courant induit au courant inducteur serait à peu près le même que celui où se trouve un conducteur dans le voisinage d'un autre conducteur chargé d'électricité en état libre. J'ai donc fait d'abord une suite d'expériences pour déterminer la quantité d'électricité qui est dissimulée sur une boule non isolée par une autre boule chargée d'électricité, en les plaçant à différentes distances l'une de l'autre. Toutefois, je dois faire remarquer que j'avais fait ces expériences avant d'en prévoir l'importance pour les courants induits. Pour atteindre le but que je m'étais proposé, je mis en contact une boule bien isolée avec l'intérieur d'une batterie composée de quatre bouteilles, à laquelle je communiquai, au moyen de la bouteille de Leyde, une charge toujours égale dans la même expérience. Cette boule pouvait, au moyen d'une vis, être mise à une certaine distance d'une autre boule fixe qui tenait à une balance à torsion, comme la représente la *fig.* 8. AB est la balance, CE un mince levier de gomme laque suspendu à un fil simple de soie DF, et entortillé en C avec un peu de tain sous la forme d'un petit cylindre long à peine de 2 lignes; la boule fixe G est jointe à la petite boule C dans l'intérieur de la balance, au moyen d'un mince fil de métal IR, garni de cire à cacheter, excepté l'endroit I; la colonne de soufre H sert de support à la boule G. Alors, pendant que K, qui est

en contact avec l'intérieur de la batterie, recevait la charge, I et par conséquent G furent mis en jonction conductrice avec le sol; l'électricité en K sépara les deux électricités en G, retint celle qui lui était opposée, et laissa arriver à terre celle qui était de même espèce. La batterie étant chargée jusqu'au degré fixé, on éloignait de I le conducteur, et l'on déchargeait la batterie au moyen d'un excitateur; l'électricité en G, jusqu'alors dissimulée, se dégageait et s'étendait jusque sur la boule C et le petit cylindre du levier, qui déviait d'un arc x où il se fixait par la torsion donnée auparavant au fil de soie. La valeur de cet arc déterminait alors la quantité d'électricité dissimulée dans les différentes distances d mises entre les boules G et K, et mesurées entre les points les plus voisins de leurs surfaces d'après une unité de mesure égale à 3 lignes. Cependant, pour n'avoir aucun doute sur cette détermination, il fallut d'abord examiner la balance; pour cela, je communiquai à la boule G de l'électricité libre, et, en tordant de plus en plus le fil de soie DI, j'amenai le levier CE à plusieurs distances de la boule C. Prenant ensuite la force de torsion du fil comme proportionnelle à ses tours, j'obtins la loi de Coulomb, savoir, que des électricités égales se repoussent en raison inverse du carré de leur distance; seulement la charge de G ne devait pas être trop forte, parce qu'alors il se montrait des irrégularités. De plus, les expériences suivantes ont résolu un deuxième point; car on pourrait demander si le levier s'éloignait chaque fois de la boule C avec une charge proportionnelle à l'électricité de cette boule, comme on doit le supposer dans le calcul. Ce qui fit lever ce doute, ce fut que, plusieurs fois après la décharge de la batterie, le levier restait attaché en C, et ne s'en éloignait qu'après avoir donné une légère secousse à la table sur laquelle se trouvait la balance. Les arcs de déviation qui provenaient dans ces cas répondaient partout à ceux où le levier s'était mis de lui-même en mouvement. En outre, j'ai encore à

ajouter que, lorsque G était chargé, la boule K pouvait être aussi écartée sans que, par là, l'arc fût changé.

Soit donc, *fig.* 9, C la boule située dans la balance, dont l'électricité proportionnelle à l'électricité dissimulée de la boule G possède l'intensité I, et soit E le cylindre placé sur le levier EF, dont l'électricité a une intensité égale à αI (α étant une constante), alors l'action de C sur E dans la direction de CM est proportionnelle à $\frac{I^2}{(CE)^2}$ ou dans la direction de CN, perpendiculaire à EF, proportionnelle à $\frac{I^2}{(CE)^2}\cos\frac{x}{2} = \frac{I^2}{\sin^2\frac{x}{2}}\cos\frac{x}{2}$, et cette action est balancée par la torsion donnée au fil de soie. Mais, la torsion restant à peu près la même pendant chaque expérience, de même que la charge de la batterie et l'arrangement de tout l'appareil, nous pouvons exprimer la quantité q de l'électricité dissimulée pour chaque distance entre les boules G et K par l'équation

$$q = C\sqrt{\sin\frac{x}{2}\tan\frac{x}{2}}, \tag{1}$$

dans laquelle C désigne une constante particulière pour chaque expérience. Mais, comme la quantité q est aussi une fonction des distances d entre les boules, j'ai tiré des expériences suivantes la formule empirique

$$q = CAb^{\sqrt{d}}, \tag{2}$$

dans laquelle A est une nouvelle constante dépendant de C (c'est-à-dire de la batterie, de l'arrangement de l'appareil et du nombre des tours qu'on a donnés au fil de soie pour le tordre), et b également une constante qui dépend de l'action de l'électricité en dissimulant celle qui lui est opposée, et qui reste pour cela la même dans toutes les expériences, supposé que les distances d soient mesurées d'après la même unité de mesure de 3 lignes. On a, d'après l'équation (2),

$$\log q = \log C + \log A + \sqrt{d}\log b,$$

et, d'après l'équation (1),

$$\log q = \log C + \tfrac{1}{2}\left(\log\sin\frac{x}{2} + \log\operatorname{tang}\frac{x}{2}\right);$$

d'où l'on tire

$$(3)\qquad \log A + \sqrt{d}\log b = \tfrac{1}{2}\left(\log\sin\frac{x}{2} + \log\operatorname{tang}\frac{x}{2}\right).$$

Si l'on a fait, dans la même expérience, plusieurs observations pour différentes distances d des boules, on peut calculer les valeurs les plus convenables du log A et du log b, et comparer avec elles les valeurs observées, ou comparer les arcs x observés et calculés. La justesse de la formule (2) apparaîtra en ce que le log b conserve une valeur constante dans toutes les expériences.

Voici maintenant huit expériences, dans lesquelles les valeurs observées de x sont les moyennes tirées de quatre jusqu'à huit observations particulières.

Première expérience. — Charge de la batterie égale à 16. La boule K de 9 lignes de diamètre, la boule G de 4 lignes de diamètre.

d.	x observé.	$(\log A + \sqrt{d}\log b)$ observé.	$(\log A + \sqrt{d}\log b)$ calculé.	x calculé.
1	34°.20′	0,47394 — 1	0,48135 — 1	34°.26′
4	24.15	0,32721 — 1	0,32628 — 1	24.12
7	19.24	0,22970 — 1	0,22615 — 1	19.14
10	15.54	0,14295 — 1	0,14605 — 1	16. 1

log A = 0,63641 — 1. log b = 0,84493 — 1.

Deuxième expérience. — Comme dans la 1re exp., excepté la torsion du fil.

d.	x observé.	$(\log A + \sqrt{d}\log b)$ observé.	$(\log A + \sqrt{d}\log b)$ calculé.	x calculé.
1	34.30	0,48208 — 1	0,48561 — 1	34.47
4	25.14	0,34461 — 1	0,33756 — 1	24.50
9	17.33	0,18598 — 1	0,18951 — 1	17.42

log A = 0,63366 — 1. log b = 0,85195 — 1.

Troisième expérience. — Charge de la batterie égale à 8; la boule G de $11\frac{1}{2}$ lignes de diamètre.

d.	x observé.	$(\log A + \sqrt{d} \log b)$ observé.	$(\log A + \sqrt{d} \log b)$ calculé.	x calculé.
1	32°.10′	0,45120 — 1	0,45120 — 1	32°.10′
4	22.10	0,29130 — 1	0,29130 — 1	22.10

$\log A = 0,61111 - 1.$ $\log b = 0,84009 - 1.$

Quatrième expérience. — Charge de la batterie égale à 9; la même boule G.

d.	x observé.	$(\log A + \sqrt{d} \log b)$ observé.	$(\log A + \sqrt{d} \log b)$ calculé.	x calculé.
1	33. 8	0,46425 — 1	0,46800 — 1	33.25
4	23.55	0,32115 — 1	0,31365 — 1	23.31
9	16.22	0,15555 — 1	0,15930 — 1	16.31
16	10.22	"	0,00495 — 1	11.35

$\log A = 0,62235 - 1.$ $\log b = 0,84565 - 1.$

Cinquième expérience. — Charge de la batterie égale à 8; la même boule G.

d.	x observé.	$(\log A + \sqrt{d} \log b)$ observé.	$(\log A + \sqrt{d} \log b)$ calculé.	x calculé.
2	24.28	0,33141 — 1	0,33427 — 1	24.39
3	22.25	0,29283 — 1	0,29002 — 1	22.17
4	20.38	0,25661 — 1	0,25272 — 1	20.27
5	18.48	0,21599 — 1	0,21986 — 1	18.58

$\log A = 0,53113 - 1.$ $\log b = 0,86080 - 1.$

Sixième expérience. — Charge de la batterie égale à 6; la même boule G.

d.	x observé.	$(\log A + \sqrt{d} \log b)$ observé.	$(\log A + \sqrt{d} \log b)$ calculé.	x calculé.
1	34.11	0,47801 — 1	0,47564 — 1	34. 0
2	29. 3	0,40639 — 1	0,40976 — 1	29.16
3	26. 8	0,35997 — 1	0,35921 — 1	26. 6
4	23.30	0,31347 — 1	0,31659 — 1	23.40
5	21.52	0,28197 — 1	0,27904 — 1	21.44

$\log A = 0,63469 - 1.$ $\log b = 0,84095 - 1.$

Septième expérience. — Charge négative de la batterie égale à 6; la même boule G.

d.	x observé.	$(\log A + \sqrt{d} \log b)$ observé.	$(\log A + \sqrt{d} \log b)$ calculé.	x calculé.
1	31°.55′	0,44777 — 1	0,44682 — 1	31°.51′
2	27.52	"	0,38722 — 1	27.48
4	22.50	0,30104 — 1	0,30293 — 1	22.56
9	16.32	0,15997 — 1	0,15803 — 1	16.28

$\log A = 0,59073 - 1$. $\log b = 0,85610 - 1$.

Huitième expérience. — Charge négative et positive de la batterie égale à 6; la même boule G.

d.	x observé.	$(\log A + \sqrt{d} \log b)$ observé.	$(\log A + \sqrt{d} \log b)$ calculé.	x calculé.
1	34.42	0,48464 — 1	0,48464 — 1	34.42
9	18. 0	0,19704 — 1	0,19704 — 1	18. 0

$\log A = 0,62844 - 1$. $\log b = 0,85620 - 1$.

Ces expériences donnent, pour la valeur du $\log b$, la table suivante :

Première expérience :	$\log b = 0,84493 - 1$;
Deuxième expérience :	$\log b = 0,85195 - 1$;
Troisième expérience :	$\log b = 0,84009 - 1$;
Quatrième expérience :	$\log b = 0,84565 - 1$;
Cinquième expérience :	$\log b = 0,86080 - 1$;
Sixième expérience :	$\log b = 0,84095 - 1$;
Septième expérience :	$\log b = 0,85610 - 1$;
Huitième expérience :	$\log b = 0,85620 - 1$.

Valeur moyenne du $\log b = 0,84958 - 1$;

d'où $b = 0,7074$.

Comme on le voit, les valeurs trouvées du $\log b$ correspondent suffisamment entre elles ; par conséquent, la formule

établie ci-dessus donne assez exactement la quantité d'électricité dissimulée à différentes distances des boules.

Passons maintenant aux expériences sur les courants induits. Je donnai aux deux fils, l'un inducteur, l'autre induit, l'arrangement représenté dans la *fig.* 10. Deux tréteaux LM et RS portaient chacun à un pied de distance deux fortes barres de verre, au-dessus desquelles passaient les deux fils AA'A''*a* et BB'B''*b*, dont les extrémités plongeaient dans des tubes de verre fermés en bas et remplis de mercure; ces fils étaient tendus par les poids P au moyen de fils de soie, qui passaient sur les barres d'un troisième tréteau VW. Un fil de cuivre allait du point *a* jusque dans l'intérieur I de la batterie composée de quatre bouteilles, et n'était interrompu que par les boules D du déchargeur; un autre fil allait de A jusqu'à l'extérieur K de la batterie en conduisant le courant par le thermomètre à air H. Ce fil tendu servait donc de fil inducteur de *a* en A, et la distance mise entre les boules D procura, pendant chaque expérience, des décharges de la batterie tout à fait égales. De plus, les extrémités B et *b* du fil induit BB'B''*b* furent jointes, tantôt par le thermomètre à air N., tantôt par ce même thermomètre et 4 pieds de packfong (p') de $0^{\text{lig}},126$ de diamètre; tantôt par le thermomètre et 8 pieds du même fil. Dans toutes les expériences, je plaçai les deux fils tendus successivement à des distances différentes, en mesurant, d'après une unité de mesure de 3 lignes, les distances *d* de leurs surfaces les plus voisines; car j'avais ici en vue de déterminer comment l'intensité du courant induit dépend de la distance mise entre les deux fils tendus. Ces expériences donnèrent, en général, les résultats suivants: 1° le courant induit dégage sur le fil qui se trouve dans le thermomètre N une chaleur d'autant plus petite, que l'espace entre les deux fils tendus est plus grand; 2° le courant induit diminue, si l'on allonge le fil qui joint les extrémités du fil BB'B''*b*; 3° lorsque la chaleur décroît

dans le thermomètre N (supposé que le fil induit reste le même dans tout son arrangement), elle monte dans le thermomètre H, de manière que le courant induit rétroagit sur le courant inducteur.

Pour confirmer ces lois, je vais communiquer quelques expériences. Le fil tendu AA′A″*a* était un fil de cuivre de $0^{lig},279$ de diamètre et de 22 pieds de long; le fil induit BB′B″*b* était de la même espèce et de 20 pieds 10 pouces de long; il restait tantôt ouvert à ses extrémités, tantôt il était fermé par les trois différents fils mentionnés plus haut. Le thermomètre H contenait un fil de platine plus fort que l'autre thermomètre N, qui avait conservé tout l'arrangement décrit dans le § III. En conséquence, les valeurs que donnaient les deux instruments furent exactement comparées les unes avec les autres, et les rapports ayant été trouvés, les nombres en N furent réduits à ceux en H, afin que les uns et les autres donnassent une expression égale pour les chaleurs excitées. Les expériences furent:

A. — Lorsque le fil induit n'était fermé que par le thermomètre N.

I.			II.			III.		
d	N.	H.	*d.*	N.	H.	*d.*	N.	H.
	Ouvert.	20,04		Ouvert.	24,48		Ouvert.	24,33
1	3,21	16,97	1	3,94	20,60	1	4,18	20,89
2	2,47	17,89	2	2,76	21,60	4	2,06	22,61
4	1,62	18,50	4	1,84	22,91	9	0,90	23,19
6	1,21	19,03	9	1,05	24,16	"	"	"
9	0,82	19,20	"	"	"	"	"	"

On peut réduire ces trois expériences, dans lesquelles les boules D avaient une distance différente, à une valeur égale de H à 24,00, le fil induit étant ouvert, et en composer la table suivante :

d.	N.			VALEUR moyenne de N.	H.			VALEUR moyenne de H.	$\frac{N}{H}$ observé.	$\frac{N}{H}$ calculé.	T calculé
	Ouvert.			"	"			24,00	"	"	43,68
1	3,85	3,87	4,12	3,95	20,32	20,20	20,61	20,38	0,1938	0,1938	44,28
2	2,96	2,71	"	2,84	21,42	21,17	"	21,30	0,1333	0,1404	43,93
4	1,94	1,81	2,03	1,93	22,15	22,46	22,30	22,30	0,0870	0,0891	44,09
6	1,45	"	"	1,45	22,79	"	"	22,79	0,0636	0,0628	44,11
9	0,98	1,03	0,89	0,97	22,97	23,69	22,88	23,18	0,0419	0,0409	43,95

$\log e = 0,89349 - 1$. $\log b = 0,83117 - 1$.

B. — Lorsque le fil induit était fermé par le thermomètre N et 4 pieds de p'.

d.	N.	H.	$\frac{N}{H}$ observé.	$\frac{N}{H}$ calculé.	T calculé.
	Ouvert.	24,33	"	"	44,82
1	2,47	18,45	0,1339	0,1339	44,50
4	1,27	21,28	0,0597	0,0592	44,34
9	0,59	22,74	0,0260	0,0261	44,00

$\log e = 0,91456 - 1$. $\log b = 0,82289 - 1$.

C. — Lorsque le fil induit était fermé par le thermomètre N et 8 pieds de cuivre.

d.	N.	H.	$\frac{N}{H}$ observé.	$\frac{N}{H}$ calculé.	T calculé.
	Ouvert.	24,33	"	"	44,82
1	1,50	17,74	0,0846	0,0846	42,81
4	0,86	21,06	0,0408	0,0403	44,27
9	0,44	23,19	0,0189	0,0191	45,29

$\log e = 0,88311 - 1$. $\log b = 0,83873 - 1$.

Comme on le voit, ces expériences confirment les lois énoncées ci-dessus. Cependant, en les examinant de plus près, on trouve, de plus, que toute la chaleur dégagée par la batterie reste toujours la même, quelle que soit la manière dont se partagent les courants sur le fil inducteur et le fil induit.

On calcule, en effet, d'après ce qui a été développé dans le paragraphe précédent, la quantité de la chaleur qui s'est dégagée, en multipliantles nombres indiqués dans les thermomètres par les résistances des fils que traversent les courants, et en ajoutant une constante comme facteur. Si l'on fait la résistance du thermomètre H et de la partie constante du fil conducteur égale à 1, les résistances des autres fils sont: 1° du fil $AA'A''a = 0,82$; 2° du fil $BB'B''b = 0,78$; du thermomètre $N = 1,04$; 4° de 4 pieds de $p' = 2,60$. Donc la constante dans la quantité T de la chaleur dégagée étant égale à 1, l'expérience communiquée sous A donne: 1° lorsque le fil induit est ouvert,

$$T = 24,00 \times 1 + 24,00 \times 0,82 = 43,68;$$

2° lorsque la distance d est égale à 1,

$$T = 20,38 \times 1,82 + 3,95 \times 1,04 + 3,95 \times 0,78 = 44,28, \text{etc.}$$

J'ai reporté ces valeurs de T calculées dans les tables ci-dessus, et on les trouvera suffisamment correspondantes entre elles. Ensuite, pour trouver une formule qui exprime la grandeur du courant induit dans les différentes distances entre les fils tendus, on doit remarquer d'abord que le courant induit ne peut être pris qu'en rapport au courant inducteur, qui se présente chaque fois et est indiqué par le thermomètre H; par conséquent, la formule ne peut se déduire immédiatement de N, mais du quotient $\frac{N}{H}$; secondement, on ne doit pas oublier que les thermomètres ne donnent pas les intensités des courants, mais leur action calorifique qui, comme nous l'avons vu, croît en raison du carré des intensités; donc la formule résultera de la valeur $\sqrt{\frac{N}{H}}$; enfin, on doit encore avoir égard à ce que, par les différents fils qui ferment le fil tendu $BB'B''b$, l'intensité du courant induit est modifiée, quoique, la distance des fils

restant la même, le fil AA′A″a exerce indubitablement la même action sur BB′B″b; en conséquence, on devra prendre pour les mêmes distances des fils une force d'induction égale et la faire varier sous l'influence des fils qui ferment le fil induit et tendu. En examinant avec soin les nombres obtenus, je trouvai bientôt de quelle manière je pouvais exprimer la valeur de cette dernière influence. En effet, d'après les résultats trouvés dans le § III, nous savons qu'un courant qui, commençant à B dans le circuit BB′B″bN et finissant à b, parcourt les deux branches BB′B″b et BNb, se partage sur elles en raison inverse de leurs longueurs équivalentes; donc la longueur équivalente de BB′B″b étant égale à l', et celle de BNb égale à l'', il passe par la première branche une partie du courant égal à $\frac{l''}{l'+l''}$, et par l'autre, une partie égale à $\frac{l'}{l'+l''}$. Maintenant, si le courant induit total, que nous désignerons par a, parcourt le fil tendu BB′B″b dans une direction encore inconnue, et que les deux parties que nous venons de mentionner traversent les branches en sens opposé, il reste sur BB′B″b un courant égal à $\left(1-\frac{l''}{l'+l''}\right)a=\frac{l'}{l'+l''}\,a$, et sur BN$b$ un courant égal à $\frac{l'}{l'+l''}\,a$; ainsi les deux courants qui restent sont de la même intensité, et parcourent tout le circuit BB′B″bN dans la même direction. Cette considération nous offre

$$\frac{l'}{l'+l''}\,a=\sqrt{\frac{N}{H}},$$

ou

$$a=\frac{l'+l''}{l'}\sqrt{\frac{N}{H}}.$$

Il reste à exprimer en a le changement que reçoit cette grandeur d'après les différentes distances où les fils tendus sont placés près l'un de l'autre. En rappelant la formule qui

donne la quantité d'électricité dissimulée, je fais encore ici $a = eb^{\sqrt{d}}$, e et b désignant des constantes, et d les distances mesurées d'après l'unité de mesure de 3 lignes. En conséquence, la formule complète sera

$$(1) \qquad \sqrt{\frac{N}{H}} = \frac{l'}{l' + l''} eb^{\sqrt{d}},$$

ou

$$(2) \qquad \frac{N}{H} = \left(\frac{l'}{l' + l''}\right)^2 EB^{\sqrt{d}},$$

si $E = e^2$ et $B = b^2$. Quant aux valeurs de l' et l'', on les trouve par des expériences particulières faites de la manière que j'ai développée dans le paragraphe précédent; seulement on doit observer que le tronc qu'on ajoute aux deux branches du fil induit forme ici tout le fil inducteur. Les résultats que j'obtins de ces expériences donnèrent:

La long. équiv. du therm. N ou $l'' = 0{,}205\,l'$;
La long. équiv. du therm. N + 4pi de p' ou $l'' = 0{,}493\,l'$;
La long. équiv. du therm. N + 8pi de p' ou $l'' = 0{,}812\,l'$.

D'après ces nombres, j'ai multiplié les valeurs observées de $\frac{N}{H}$, dans l'expérience *A*, par $(1{,}205)^2$; dans l'expérience *B*, par $(1{,}493)^2$, et dans l'expérience *C*, par $(1{,}812)^2$, afin de calculer les valeurs de e et de b; je les ai ajoutées dans les tables, et, en les substituant dans l'équation (2), j'ai calculé de même les valeurs de $\frac{N}{H}$. On reconnaîtra, par les nombres trouvés, qu'en effet e a dans les trois séries à peu près la même grandeur, et n'est incertain qu'entre les limites permises dans des expériences de ce genre; la valeur du $\log b$ est aussi à peu près la même; en moyenne, $\log b = 0{,}83091 - 1$, valeur qui, quoique un peu plus petite, rappelle involontairement le $\log b = 0{,}84958 - 1$ trouvé plus haut. Il serait maintenant facile de construire les formules entières, par lesquelles on pourrait calculer les degrés indiqués par les

thermomètres H et N; on aurait

$$(3) \qquad H = \frac{T}{W + \left(\frac{l'}{l' + l''}\right)^2 EB^{\sqrt{d}} w},$$

$$(4) \qquad N = \frac{T\left(\frac{l'}{l' + l''}\right)^2 EB^{\sqrt{d}}}{W + \left(\frac{l'}{l' + l''}\right)^2 EB^{\sqrt{d}} w},$$

où W désigne la résistance de tout le fil conducteur, w la résistance de tout le circuit induit, et T conserve la signification qui lui a été donnée ci-dessus; mais pour l'ordinaire je n'emploierai pas ces formules, parce que je ne puis considérer jusqu'à présent l'équation

$$a = eb^{\sqrt{d}}$$

que comme une expression empirique que je ne puis encore suffisamment expliquer.

Après ces expériences, je cherchai à déterminer l'influence de plusieurs fils inducteurs sur un seul fil induit. Je pris pour cela de forts fils de cuivre, tous de 19 pieds de long, qui furent tendus sur les barres de verre des tréteaux; le fil induit était de $0^{lig},50$ de diamètre; des fils inducteurs, deux du n° I avaient le même diamètre, les deux autres, du n° II, étaient de $0^{lig},49$ de diamètre. Les résistances de ces fils se trouvaient: du fil induit, égales à 0,321; des deux fils (n° I) pris ensemble, égales à 0,557, et des deux fils (n° II) pris ensemble, égales à 0,354; ces deux derniers donnèrent, en conséquence, une résistance beaucoup plus petite, probablement parce qu'ils étaient de cuivre plus pur.

Pour rendre visible dans les figures la position de ces fils tendus, je les représenterai comme si on les voyait d'en haut et qu'on n'en vît qu'un côté, savoir la partie supérieure; j'éloignerai cependant les extrémités des fils, et les petites lettres désigneront les extrémités inférieures, les

majuscules les extrémités supérieures ; de plus, je désignerai par des lignes pointillées tous les fils de jonction, afin d'exprimer par là que, quoique les fils se croisent dans les figures, cependant il a été pourvu à ce qu'ils fussent bien isolés les uns des autres. Je tendis donc d'abord, *fig.* 11, un fil de cuivre (n° I) comme inducteur ; le courant de la batterie passa de I par *a*A′A et par le thermomètre H jusqu'en K ; le fil induit est *b*B′B. Secondement, je tendis, *fig.* 12, deux fils (n° I) *a*A′A et *b*B′B comme inducteurs des deux côtés du fil induit *c*C′C ; le courant de la batterie passa de I sur *a*A′A *b*B′B par H jusqu'en K. Troisièmement, je tendis, *fig.* 13, des deux côtés du fil induit *c*C′C, deux fils (n° I) *b*B′B et *d*D′D, et deux fils (n° II) *a*A′A et *e*E′E ; le courant de la batterie passa de I sur *a*A′A *b*B′B *d*D′D *e*E′E par H jusqu'en K. De cette manière, le courant de la batterie passa par tous les fils inducteurs qui se trouvaient deux à deux à une égale distance du fil induit, dans la même direction, comme l'indiquent les signes ➼ ajoutés aux parties supérieures des fils. Les tables suivantes donnent les observations dans lesquelles les expériences, répétées plusieurs fois, sont déjà réduites à une charge égale de la batterie ; on y trouve en même temps les résistances qu'offrait le fil conducteur de la batterie, y compris les fils inducteurs et tout le circuit induit.

I. — Un fil (n° I) inducteur, *fig.* 11. *b*B′B fermé par le thermomètre N. Résistance du fil conducteur égale à 1,29 ; celle du circuit induit égale à 1,36.

d.	N.			VALEUR moyenne de N.	H.			VALEUR moyenne de H.	$\frac{N}{H}$ obs.	$\frac{N}{H}$ calc.	T calculé
	Ouvert.			"	"			28,00	"	"	36,12
1	4,43	4,86	4,82	4,70	22,04	22,38	22,60	22,34	0,2104	0,2104	35,21
4	2,35	2,35	2,36	2,35	23,94	24,88	26,17	24,66	0,0953	0,0961	35,00
9	1,20	"	1,13	1,16	26,09	"	26,42	26,25	0,0442	0,0439	35,47

$\log e = 0{,}90683 - 1.$ $\log b = 0{,}82973 - 1.$

II. — Deux fils (nº I) inducteurs, *fig.* 12. *A.* — *c*C′C fermé par le thermomètre N. Résistance du fil conducteur égale à 1,58; celle du circuit induit égale à 1,36.

d.	N.			VALEUR moyenne de N.	H.			VALEUR moyenne de H.	$\frac{N}{H}$ observé.	$\frac{N}{H}$ calculé.	T calculé
	Ouvert.			"	"			23,00	"	"	36,34
1	10,54	10,77	10,79	10,70	13,83	13,87	13,92	13,87	0,7716	0,7716	36,46
4	6,33	6,56	6,59	6,49	17,75	17,42	17,66	17,61	0,3685	0,3653	36,65
9	3,38	"	3,46	3,42	19,87	"	20,04	19,95	0,1714	0,1729	36,17

log e = 0,87509 — 1.   log b = 0,83761 — 1.

B. — *c*C′C fermé par le thermomètre N + 4 pieds de p'. Resistance du fil conducteur égale à 1,58; celle du fil induit égale à 3,96.

d.	N.	H.	$\frac{N}{H}$ observé.	$\frac{N}{H}$ calculé.	T calculé.
	Ouvert.	24,16	"	"	38,17
1	5,48	11,45	0,4786	0,4786	39,78
4	3,61	15,88	0,2273	0,2288	39,39
9	2,10	19,08	0,1101	0,1094	38,45

log e = 0,87240 — 1.   log b = 0,83974 — 1.

C. — *c*C′C fermé par le thermomètre N + 8 pieds de p'. Résistance du fil conducteur égale à 1,58; celle du courant induit égale à 6,56.

	Ouverte.	24,16	"	"	38,17
1	3,49	11,50	0,3035	0,3035	41,05
4	2,23	15,86	0,1406	0,1428	39,67
9	1,31	19,17	0,0683	0,0673	38,87

log e = 0,88587 — 1.   log b = 0,83635 — 1.

III. — Quatre fils (nºˢ I et II) inducteurs, *fig.* 13. *A.* — *c*C′C fermé par le thermomètre N. Résistance du fil conducteur égale à 1,94; celle du circuit induit égale à 1,36.

	Ouvert.	19,51	"	"	37,85
1 et 4	17,10	8,62	1,9838	1,9419	39,97
1 et 9	15,13	10,33	1,4647	1,4908	40,62
4 et 9	11,83	12,35	0,9580	1,9494	39,74

log e = 0,83817 — 1.   log b = 0,84465 — 1.

B. — *c* C′C fermé par le thermomètre N + 4 pieds de *p′*. Résistance du fil conducteur égale à 1,94; celle du circuit induit égale à 1,96.

d.	N.	H.	$\frac{N}{H}$ observé.	$\frac{N}{H}$ calculé.	T calculé.
	Ouvert.	19,51	"	"	37,85
1 et 4	6,86	7,37	0,9308	0,9508	41,45
1 et 9	6,34	8,50	0,7459	0,7281	41,60
4 et 9	4,95	10,84	0,4566	0,4599	40,62

log $e = 0,81532 - 1$. log $b = 0,84233 - 1$.

Quant au calcul, d'abord la quantité de chaleur qui paraît en même temps sur tous les fils, et qui est déterminée d'après les principes ci-dessus établis, est constante dans chaque expérience pour laquelle les boules du déchargeur furent maintenues à la même distance l'une de l'autre. Ensuite, pour trouver e et b, je déterminai les longueurs équivalentes l' et l'' des deux parties du fil induit, et j'obtins pour le thermomètre N : $l'' = 0,176\, l'$, valeur qui restait la même, soit qu'un seul, ou deux, ou quatre fils (n[os] I et II) fussent ajoutés au tronc; pour le thermomètre N + 4 pieds de p' : $l'' = 0,490\, l'$, en ajoutant au tronc les deux fils (n° I); au contraire, $l'' = 0,581\, l'$, quand les quatre fils étaient insérés dans le tronc; enfin, pour le thermomètre N + 8 pieds de p' : $l'' = 0,915\, l'$, lorsque les deux fils (n° I) se trouvaient dans le tronc. Au moyen de ces valeurs, la formule ci-dessus

$$\sqrt{\frac{N}{H}} = \left(\frac{l'}{l' + l''}\right) eb^{\sqrt{d}}$$

se transforma en les suivantes :

Pour le n° I, en $\sqrt{\frac{N}{H}} = \frac{1}{1,176} eb^{\sqrt{d}}$;

Pour le n° II. *A* en $\sqrt{\frac{N}{H}} = 2\left(\frac{1}{1,176}\right) eb^{\sqrt{d}}$;

Pour le n° II.B en $\sqrt{\frac{N}{H}} = 2\left(\frac{1}{1,490}\right) eb^{\sqrt{d}}$;

Pour le n° II.C en $\sqrt{\frac{N}{H}} = 2\left(\frac{1}{1,915}\right) eb^{\sqrt{d}}$;

Pour le n° III.A en $\sqrt{\frac{N}{H}} = 2\left(\frac{1}{1,176}\right)\left(eb^{\sqrt{d'}} + eb^{\sqrt{d''}}\right)$;

Pour le n° III.B en $\sqrt{\frac{N}{H}} = 2\left(\frac{1}{1,581}\right)\left(eb^{\sqrt{d'}} + eb^{\sqrt{d''}}\right)$;

d' et d'' désignant dans les deux dernières formules les différentes distances auxquelles se trouvaient les deux fils (n° I) et les deux fils (n° II) du fil induit. D'après le calcul, on voit aussitôt que le log b a conservé à peu près la même valeur dans les trois cas ; car, s'il augmente un peu, cela pourrait s'expliquer par l'influence des parties supérieures et inférieures des fils les unes sur les autres, d'où il résulte quelque dérangement, en ce que ces parties, comme l'exigent les formules, opèrent non-seulement sur celles qui en sont voisines, c'est-à-dire les parties supérieures sur les supérieures et les inférieures sur les inférieures, mais les parties supérieures aussi sur les inférieures, et *vice versâ* les inférieures sur les supérieures ; il faudrait donc éloigner les parties en question les unes des autres de plus de 1 pied si l'on voulait faire disparaître complétement ce petit dérangement. Les valeurs de e diminuent, au contraire, évidemment à mesure qu'augmente le nombre des fils inducteurs ; il se pourrait que la cause de ce phénomène se trouvât dans un changement de la tension qu'éprouverait le courant de la batterie, lorsqu'il passe par des fils situés les uns près des autres ; elle pourrait être aussi trouvée dans l'action non simultanée de chaque fil inducteur en particulier, en ce que le courant ne commence ni ne finit sur tous les fils dans le même moment. Néanmoins, quelle que soit la cause de ce phénomène, la diminution de e n'est pas assez sensible pour qu'il ne soit pas permis d'établir la loi, que sous les mêmes

circonstances deux fils excitent un courant induit d'une intensité double, quatre fils un courant d'une intensité quadruple, de sorte que l'effet de la chaleur sur le fil induit passe dans les mêmes cas de 1 à 4 à 16.

La grandeur du courant induit par deux fils inducteurs m'engagea à faire une expérience dans laquelle les formules (3) et (4), qui se réduisent ici à

$$H = \frac{T}{W + 4\left(\frac{l'}{l'+l''}\right)^2 EB^{\sqrt{d}} w};$$

$$N = \frac{4T\left(\frac{l'}{l'+l''}\right)^2 EB^{\sqrt{d}}}{W + 4\left(\frac{l'}{l'+l''}\right)^2 EB^{\sqrt{d}} w},$$

pourraient être essayées pour des distances d bien différentes. Voici cette expérience :

	N observé.	N calculé.	H observé.	H calculé.	$\frac{N}{H}$ observé.	$\frac{N}{H}$ calculé.	T calculé.
	Ouvert.	"	23,00	23,18	"	"	36,34
1	10,79	10,74	13,92	13,92	0,7752	0,7716	36,56
2	8,86	8,82	15,40	15,58	0,5753	0,5661	36,38
3	7,48	7,47	17,14	16,75	0,4364	0,4463	37,24
4	6,59	6,44	17,66	17,63	0,3732	0,3653	36,86
6	4,91	4,94	19,08	18,93	0,2573	0,2610	36,81
9	3,46	3,49	20,04	20,18	0,1726	0,1729	36,36
12	2,54	2,56	20,97	20,97	0,1211	0,1222	36,57
16	1,77	1,76	21,41	21,78	0,0827	0,0819	36,22
					Moyenne.......		36,62

Comme le thermomètre N fermait seul le fil induit, je fis $\frac{l'}{l'+l''} = \frac{1}{1,176}$, et je pris pour e et b leurs valeurs déjà calculées dans l'expérience communiquée ci-dessus sous le n° II. *A*. Les formules se vérifient très-bien.

Ensuite je changeai le fil tendu dans le circuit induit; car, au lieu du fil de cuivre, je pris un fil de fer de $0^{lig},25$ de diamètre et de 19 pieds de long, dont la résistance était égale à 2,80. Les fils de cuivre, jusqu'alors employés, servaient encore de fils inducteurs.

I. — Un fil (n° I) inducteur, *fig.* 11. — *b* B'B fermé par le thermomètre N. Résistance du fil conducteur égale à 1,29; celle du circuit induit égale à 3,84.

d.	N.	VALEUR moyenne de N.	H.	VALEUR moyenne de H.	$\frac{N}{H}$ observé.	$\frac{N}{H}$ calculé.	T calculé.
	Ouvert.	"	"	35,00	"	"	45,15
1	2,57 2,70 2,74	2,67	25,59 26,70 26,86	26,38	0,1012	0,1012	44,45
4	1,20 1,35 1,27	1,27	30,62 30,58 30,96	30,72	0,0413	0,0413	44,50

log e = 0,74486 — 1. log b = 0,80538 — 1.

II. — Deux fils (n° I) inducteurs, *fig.* 12. *A.* — *c* C'C fermé par le thermomètre N. Résistance du fil conducteur égale à 1,58; celle du circuit induit égale à 3,84.

d.	N.	H.	$\frac{N}{H}$ observé.	$\frac{N}{H}$ calculé.	T calculé.
	Ouvert.	24,78	"	"	39,15
1	4,65	13,09	0,3552	0,3552	38,53
4	2,37	18,36	0,1291	0,1340	38,20
9	1,15	21,91	0,0525	0,0506	39,02

log e = 0,73348 — 1. log b = 0,78836 — 1.

B. — *c* C'C fermé par le thermomètre N + 4 pieds de *p'*. Résistance du fil conducteur égale à 1,58; celle du circuit induit égale à 6,44.

d.	N.	H.	$\frac{N}{H}$ observé.	$\frac{N}{H}$ calculé.	T calculé.
	Ouvert.	24,78	"	"	39,15
1	2,76	13,66	0,2020	0,2020	39,45
4	1,37	18,36	0,0746	0,0778	37,92
9	0,69	22,02	0,0313	0,0300	30,24

log e = 0,67830 — 1. log b = 0,79293 — 1.

III. — Quatre fils (nos I et II) inducteurs, *fig.* 13. — $cC'C$ fermé par le thermomètre N. Résistance du fil conducteur égale à 1,94; celle du circuit induit égale à 3,84.

d.	N.	H.	$\frac{N}{H}$ observé.	$\frac{N}{H}$ calculé.	T calculé.
	Ouvert.	19,57	"	"	37,96
1 et 4	5,51	8,85	0,6226	0,6203	38,32
1 et 9	4,57	9,95	0,4593	0,4609	36,85
4 et 9	3,25	12,70	0,2651	0,2616	35,54

$\log e = 0,61306 - 1$. $\log b = 0,81254 - 1$.

Pour le calcul de e et b, les longueurs équivalentes des deux parties du circuit induit se trouvèrent :

$$\text{Du therm. N} : l'' = 0,115\,l';$$
$$\text{du therm. N} + 4 \text{ pieds de } p' : l'' = 0,317\,l'.$$

Ces expériences montrent de nouveau que la quantité de la chaleur, dégagée sur tous les fils, reste constante; de plus, que les valeurs de e et b sont moindres qu'auparavant, cependant de manière que le log b a conservé à peu près la même grandeur dans les trois cas. Je ne saurais dire d'où dépend la diminution de la valeur de b; mais quant à e, je peux avancer les faits suivants. Si l'on compare les valeurs de e, qu'on vient de trouver, avec celles que nous avons obtenues plus haut au moyen d'un fil induit de cuivre, leur rapport est, pour le n° I, comme 1 : 1,49; pour le n° II, comme 1 : 1,47; pour le n° III, comme 1 : 1,68 : en conséquence, en moyenne, comme 1 : 1,55. Si l'on compare de même les rapports des longueurs équivalentes du thermomètre N et du thermomètre N + 4 pieds de p' avec les longueurs du fil de fer et du fil de cuivre, on trouve ces rapports comme 0,116 : 0,176, ou comme 1 : 1,52, et comme 0,317 : 0,490, ou comme 1 : 1,54, en moyenne, comme

1 : 1,53. Les deux rapports de e et de l'' sont égaux ; conséquemment nous pouvons en toute sûreté établir ce principe, que l'intensité du courant induit est en raison inverse de la longueur équivalente des fils qui sont tendus et induits.

Je donne encore une expérience dans laquelle le fil de fer formait le fil inducteur, pendant que le fil de cuivre était induit.

Le fil de fer inducteur, *fig.* 11. — bB′B fermé par le thermomètre N. Résistance du fil conducteur égale à 3,82; celle du circuit induit égale à 1,36.

d.	N.	H.	$\frac{N}{H}$ observé.	$\frac{N}{H}$ calculé.	T calculé.
	Ouvert.	14,02	"	"	53,56
1	2,91	13,14	0,2214	0,2214	54,06
4	1,35	13,54	0,0997	0,1000	53,54
9	0,62	13,60	0,0456	0,0454	52,79

$\log e = 0{,}91474 - 1.$ $\log b = 0{,}82788 - 1.$

Dans cette expérience, e et b ont presque la même valeur que quand un fil de cuivre avait été inducteur, de manière que le changement du fil conducteur de la batterie ne paraît amener aucune influence particulière.

Maintenant il reste pour le courant induit quelques questions que nous allons résoudre.

Direction du courant induit. — Comme on le sait, on a énoncé différentes opinions sur la direction du courant induit ; mais les moyens employés pour la recherche ne me paraissent point satisfaisants. Pour résoudre la question au moyen du thermomètre à air, on peut, d'après les *fig.* 14[a] et 14[b], choisir les arrangements suivants. On tend deux fils aA′A et bB′B à côté l'un de l'autre, et l'on joint encore les points B et b par un fil particulier, par exemple par le thermomètre N; ensuite on fait passer une fois le courant de la

batterie, *fig.* 14[a], de I par *a*A′A, jusqu'à *b*; là il se partage en deux parties, dont l'une parcourt *b*B′, jusqu'à B, l'autre *b*N, également jusqu'à B, d'où tout le courant va, par le thermomètre H, à l'extérieur K de la batterie; la seconde fois, *fig.* 14[b], on fait passer le courant de I par *a*A′A jusqu'à B; il se divise en deux parties, par BB′ et par BN jusqu'à *b*, et passe par le thermomètre H jusqu'à K. Dans les deux cas une partie du courant parcourt donc *b*NB, mais chaque fois dans une direction différente; pendant le même temps, il se forme un courant induit qui conserve en *b*NB, dans les deux cas, la même direction. Comme la partie du courant de la batterie et le courant induit arrivent ensemble en N, ils se renforcent une fois et s'affaiblissent l'autre fois, et l'on pourra tirer facilement de là la direction du courant induit, celle de l'autre courant étant connue. En effet, si le courant induit sur le fil tendu *b*B′B va dans une direction opposée au courant inducteur en *a*A′A, comme le montrent les signes ↠ dans les figures, le thermomètre N indiquera une plus grande chaleur dans l'arrangement représenté par la *fig.* 14[a] que dans celui de la *fig.* 14[b]; si le contraire avait lieu, l'effet des courants serait aussi le contraire. Pour faire cette expérience, les deux fils de cuivre de $0^{lig},279$ de diamètre, mentionnés plus haut, étaient tendus et éloignés l'un de l'autre d'une distance *d* égale à 1, et les points *b* et B étaient fermés, 1° par le thermomètre N; 2° par le thermomètre N + 4 pieds de *p′*; 3° par le thermomètre N + 8 pieds de *p′*; j'obtins alors

Arrangement comme dans la fig. 14[a].

*b*B′B fermé.	N.			VALEUR moyenne de N.	H.			VALEUR moyenne de H.
Par le therm. N.	10,93	10,67	10,86	10,82	6,98	7,16	6,57	6,90
Par N + 4pi de *p′*.	4,35	4,50	4,49	4,45	4,75	4,59	4,62	4,65
Par N + 8pi de *p′*.	2,63	2,90	2,89	2,81	4,47	4,19	4,23	4,30

Arrangement comme dans la fig. 14^b.

b B′B fermé.	N.	VALEUR moyenne de N.	H.	VALEUR moyenne de H.
Par le therm. N.	2,48 2,62 2,66	2,59	11,45 11,24 11,27	11,32
Par N + 4pi de p'.	1,42 1,45 1,54	1,47	9,43 9,78 9,31	9,51
Par N + 8pi de p'.	0,98 1,00 1,02	1,00	9,22 9,13 9,21	9,21

D'après ces observations, le courant induit a sur le fil tendu une direction opposée au courant de la batterie sur le fil inducteur.

Aussi le courant induit conserve-t-il cette direction dans toutes les circonstances, même si ce courant est secondaire, et que le courant induit primaire se manifeste par une étincelle. Pour le prouver également, je tendis, d'après les *fig.* 15^a et 15^b, les cinq fils de cuivre de $0^{lig},50$ et $0^{lig},49$ de diamètre, les deux derniers dD′D et eE′E, éloignés de $1\frac{1}{2}$ pied des autres, et je liai ensemble les deux fils cC′C et dD′D, de manière que le courant induit primaire parcourût ces fils qui se trouvaient une fois partout en jonction métallique, et étaient l'autre fois séparés par le petit espace S où éclatait l'étincelle. Le courant de la batterie passa de I par aA′AbB′B jusqu'à E, dans la *fig.* 15^a, et jusqu'à e, dans la *fig.* 15^b, d'où il parcourut les deux branches, et parvint à l'extérieur de la batterie; en conséquence, une partie de ce courant parcourut le thermomètre N, dans le premier cas, dans la direction ENe; dans le second cas, dans la direction eNE. Le courant induit primaire, qu'excitaient les deux fils aA′A et bB′B, alla sur dD′D, dans la direction de D′ à D; si donc il en résulta un courant secondaire sur eE′E, qui, dans les deux cas, était dirigé de E à E′, on traversait le thermomètre N dans la direction eNE, ce thermomètre devait indiquer dans l'arrangement des fils, d'après la *fig.* 15^a, une chaleur plus petite que dans celui d'après la *fig.* 15^b. Outre cela, ce résultat devait être le même, soit

que le courant induit primaire fût visible dans l'étincelle, soit qu'il restât sur des conducteurs partout métalliques. L'expérience confirma cette supposition, car elle donna :

D'APRÈS LA *fig.* 15ª.				D'APRÈS LA *fig.* 15ᵇ.			
Point d'étincelle à S.		Étincelle à S.		Point d'étincelle à S.		Étincelle à S.	
N.	H.	N.	H.	N.	H.	N.	H.
3,95	12,37	4,11	12,56	9,16	9,43	9,16	9,75

Action du courant induit sur le fil même qu'il parcourt. — Voici de quelle manière j'ai résolu la question : le courant induit peut-il induire un nouveau courant sur les parties du même fil par lequel il passe lui-même ? Je fis exciter sur le fil de cuivre de $0^{lig},50$ de diamètre, un courant induit par les deux fils (nº I), qui formaient, avec le thermomètre H, le fil conducteur de la batterie, et je conduisis ce courant par le thermomètre N, par 4 pieds de fil de cuivre, et enfin par les deux fils (nº II), qui se trouvaient assez éloignés des autres fils, et qui étaient tendus et séparés successivement l'un de l'autre par différentes distances *d*. Outre cela, les extrémités de ces fils étaient jointes entre elles, de manière que le courant induit primaire s'écoula en eux une fois dans une direction égale, l'autre fois dans une direction opposée. L'expérience me donna par là les nombres suivants :

	DIRECTION ÉGALE du courant induit produit sur les deux fils (nº II).		DIRECTION OPPOSÉE du courant induit produit sur les deux fils (nº II).	
d.	N.	H.	N.	H.
1	2,08	37,52	6,87	32,86
4	2,42	36,56	5,27	33,77
9	2,70	35,90	4,55	34,11

Si l'on désigne, dans le premier cas, l'intensité du courant de la batterie par h', celle du courant induit primaire par mh', celle du courant indiqué par le thermomètre N par n', et celle du courant induit secondaire par xn', on obtient, parce que la direction du dernier est opposée à celle du courant induit primaire,

$$mh' - xn' = n'.$$

En adoptant, dans le second cas, les signes h'', mh'', n'' et xn pour les courants nommés ci-dessus, on obtient

$$mh'' + xn'' = n'',$$

parce qu'ici les courants induits primaire et secondaire ont la même direction à travers le thermomètre N. De ces deux équations il résulte

$$x = \frac{n''h' - n'h''}{n''h' + n'h''}.$$

En y substituant au lieu de h', h'', n', n'', les racines carrées des valeurs observées de H et de N (car la chaleur dégagée se trouve en raison du carré de l'intensité des courants), on peut former la table suivante :

d.	x.
1	0,3202
4	0,2112
9	0,1422

Donc, si l'on suppose que x provienne aussi, dans cette expérience, de la formule

$$x = \frac{l'}{l' + l''} eb^{\sqrt{d}},$$

soit la longueur équivalente des deux fils (n° II), sur lesquels le courant secondaire est induit, égale à l', alors l'' est égal à la somme formée d'un fil de 19 pieds de long ou de $\frac{1}{2}l'$, du thermomètre N, ou de $0{,}09\,l'$, et de 4 pieds de cuivre ou de $0{,}10\,l'$; en conséquence, $l'' = 0{,}69\,l'$, et $\frac{l'}{l'+l''} = \frac{1}{1{,}69}$. Au moyen de cette valeur, le calcul donne

$\log e = 0{,}91106 - 1$, et $\log b = 0{,}82225 - 1$, deux valeurs qui correspondent tout à fait avec celles déjà trouvées, et montrent par cela que le courant induit produit, sur le fil qu'il parcourt lui-même, un courant secondaire d'après les mêmes lois par lesquelles il est produit par le courant de la batterie.

L'existence du courant induit secondaire dont je viens de parler m'engagea à déterminer la longueur équivalente du fil de cuivre de $0^{lig},279$ de diamètre, roulé en hélice contre la même espèce de fil tendu en ligne droite, en ce que les nombres obtenus dans le § III ne correspondaient pas avec ceux du § I, ni avec ceux qui sont donnés par les expériences ci-dessus, et que je dus chercher la cause de cette différence dans la forme en hélice. En effet, je trouvai que 4 pieds de cuivre en forme d'hélice ne possèdent qu'une longueur équivalente de $2^{pi},5$, le fil normal étant celui qui est tendu en ligne droite. Ce rapport correspond parfaitement aux nombres donnés dans le § III.

Action du courant de la batterie sur deux fils induits en même temps. — Si le même fil inducteur opère dans le même temps sur deux fils induits, l'effet sera, comme on le sait, moindre sur chacun que si l'un ou l'autre était induit seul; il s'agit donc de savoir si cette diminution peut s'expliquer par les courants secondaires. Je tendis pour cela, d'après les *fig.* 16^a et 16^b, trois fils de cuivre (n° I), à côté l'un de l'autre, et je fis passer le courant de la batterie par ces trois fils l'un après l'autre, pour obtenir des courants induits d'une grande intensité sur les deux fils (n° II), $dD'D$ et $eE'E$, dont le premier restait à une distance fixe des fils inducteurs, et le second se trouvait séparé du premier d. Alors j'observai d'abord le courant induit en $dD'D$ seulement, en mettant les points d et D en contact entre eux par le thermomètre N; cela donna $v' = \frac{n'}{h'}$, où $\frac{n'}{h'}$ exprime le

rapport de l'intensité du courant induit en $dD'D$ avec le courant inducteur. Secondement, j'observai le courant induit en $eE'E$ seulement, en fermant les points e et E par le thermomètre N, et je trouvai $v'' = \frac{n''}{h''}$. Troisièmement, ayant joint $dD'D$ et $eE'E$, ou d'après la manière représentée dans la *fig.* 16^a, ou d'après celle représentée dans la *fig.* 16^b, j'examinai les courants indiqués par les thermomètres H et N, dont je désignerai les intensités par $h_{\prime}$, $h_{\prime\prime}$, et $n_{\prime}$, $n_{\prime\prime}$. Or, si dans les deux cas l'action du courant inducteur sur les deux fils était restée invariable, l'intensité du courant induit sur $dD'D$ devait être égale à $v_{\prime}h_{\prime}$, et celle du courant induit sur $eE'E$ égale à $v_{\prime\prime}h_{\prime\prime}$, de manière que les valeurs de $v_{\prime}$ et de $v_{\prime\prime}$ résultaient de v' et v'' au moyen des équations

$$v_{\prime}\frac{l'+l''}{l'} = v_{\prime}\frac{l_{\prime}+l_{\prime\prime}}{l_{\prime}} \quad \text{et} \quad v''\frac{l'+l''}{l'} = v_{\prime}\frac{l_{\prime}+l_{\prime\prime\prime}}{l_{\prime}}.$$

Dans ces formules, l' et l'' représentent les longueurs équivalentes des parties du circuit induit dans les deux premières observations, et $l_{\prime}$ et $l_{\prime\prime}$ celles des parties du circuit induit dans les deux dernières observations. Ces longueurs sont déjà connues, car $l'' = 0,18\,l'$, et $l_{\prime\prime} = 1,21\,l_{\prime}$, parce que, dans les cas où les deux fils induits étaient joints ensemble, j'avais ajouté dans le circuit, outre le thermomètre N, encore 1 pied de cuivre. En conséquence, on a

$$v_{\prime} = \frac{1,18}{2,21}v' \quad \text{et} \quad v'' = \frac{1,18}{2,21}v''.$$

Mais les deux courants induits $v_{\prime}h_{\prime}$ et $v_{\prime\prime}h_{\prime\prime}$ excitèrent de nouveau des courants secondaires, dont les intensités dépendaient de $n_{\prime}$ et de $n_{\prime\prime}$, et des distances d mises entre les deux fils (n° II) ; si on les désigne par $xn_{\prime}$ et $xn_{\prime\prime}$, x sera égal à $\frac{1}{1,105}\,eb^{\sqrt{d}}$, pourvu que l'on y introduise, pour e et b, les valeurs précédemment trouvées, savoir, $\log e = 0,91106-1$

et $\log b = 0{,}82225 - 1$. Après ces explications, on aura, dans les deux cas représentés par les *fig.* 16^a et 16^b,

$$v_{\prime}h_{\prime} + v_{\prime\prime}h_{\prime} - xn_{\prime} = n_{\prime},$$

et

$$v_{\prime}h_{\prime\prime} - v_{\prime\prime}h_{\prime\prime} + xn_{\prime\prime} = n_{\prime\prime};$$

d'où il résulte

$$v' = \frac{n_{\prime}h_{\prime\prime}(1+x) - n_{\prime\prime}h_{\prime}(1-x)}{2h_{\prime}h_{\prime\prime}},$$

et

$$v'' = \frac{n_{\prime}h_{\prime\prime}(1+x) - n_{\prime\prime}h_{\prime}(1-x)}{2h_{\prime}h_{\prime\prime}}.$$

Au moyen de ces équations, on peut calculer les valeurs de v' et de v''; si donc elles correspondent aux valeurs de v' et de v'', tirées des deux premières observations, on conclura que le courant inducteur agit sur les deux fils de la même manière que sur un seul, et que les résultats qui semblent, au premier coup d'œil, ne pas admettre cette supposition, y sont amenés par les courants induits secondaires qui se montrent en même temps que les courants primaires.

Première expérience.

d	JONCTION DES FILS (N° II).	d.	H.	v' et v''.
1	dD'D fermé seulement.	9,38 (n'^2)	9,58 (h'^2)	v' obs. = 0,980
	eE'E fermé seulement.	8,06 (n''^2)	10,33 (h''^2)	v'' obs. = 0,883
	D'après la *fig.* 16^a.....	5,53 ($n_{\prime}^2$)	11,60 ($h_{\prime}^2$)	v' calc. = 1,036
	D'après la *fig.* 16^b......	0,34 ($n_{\prime\prime}^2$)	14,60 ($h_{\prime\prime}^2$)	v'' calc. = 0,890
4	dD'D fermé seulement.	9,38	9,58	v' obs. = 0,980
	eE'E fermé seulement.	5,89	11,78	v'' obs. = 0,707
	D'après la *fig.* 16^a.....	5,81	11,50	v' calc. = 1,052
	D'après la *fig.* 16^b.....	1,00	14,33	v'' calc. = 0,722

Seconde expérience.

d.	JONCTION DES FILS (Nº II).	N.	H.	ν' et ν''.
1	*d*D′D fermé seulement...	13,98	14,06	ν' obs. = 0,997
	*e*E′E fermé seulement...	11,86	15,81	ν'' obs. = 0,866
	D'après la *fig.* 16^a^.......	8,33	17,55	ν' calc. = 1,033
	D'après la *fig.* 16^b^.......	0,50	22,55	ν'' calc. = 0,890
4	*d*D′D fermé seulement...	13,98	14,06	ν' obs. = 0,997
	*e*E′E fermé seulement...	8,43	17,80	ν'' obs. = 0,688
	D'après la *fig.* 16^a^.......	8,40	17,37	ν' calc. = 1,036
	D'après la *fig.* 16^b^.......	1,55	21,28	ν'' calc. = 0,699
9	*d*D′D fermé seulement...	13,98	14,06	ν' obs. = 0,997
	*e*E′E fermé seulement...	5,38	19,41	ν'' obs. = 0,526
	D'après la *fig.* 16^a^.......	8,23	17,80	ν' calc. = 1,047
	D'après la *fig.* 16^b^.......	2,85	20,88	ν'' calc. = 0,508
16	*d*D′D fermé seulement...	13,98	14,06	ν' obs. = 0,997
	*e*E′E fermé seulement...	2,92	20,77	ν'' obs. = 0,375
	D'après la *fig.* 16^a^.......	7,81	18,09	ν' calc. = 1,044
	D'après la *fig.* 16^b^.......	3,50	19,51	ν'' calc. = 0,367

Dans ces tables, quoique le calcul ait dû se faire avec beaucoup de valeurs connues seulement approximativement, les valeurs de ν' et de ν'' sont néanmoins assez correspondantes entre elles pour qu'on puisse en tirer la conclusion que je viens de mentionner.

Après ces expositions particulières, retournons à la question de la liaison qui existe entre le courant inducteur et le courant induit. Les observations que j'ai communiquées ont démontré que l'intensité du dernier courant dépend de celle du courant inducteur, d'après la formule $eb^{\sqrt{d}}$, dans laquelle e se change en raison inverse des longueurs équivalentes des fils induits et où b est aussi soumis à de petites variations ; sa plus grande valeur était, sur le fil de cuivre,

de $0^{lig},50$ de diamètre, savoir, en moyenne,

$$\log b = 0,83840 - 1.$$

De plus, nous avons vu que la quantité d'électricité, dissimulée sur une boule, dérive également de la même formule, dans laquelle était $\log b = 0,84958 - 1$. Quoique ces deux valeurs du $\log b$ diffèrent fort peu l'une de l'autre, cependant on peut élever la question, si l'on devait comparer une action qui avait lieu entre deux boules avec une action semblable, mais qui était observée entre deux fils tendus en lignes droites l'un à côté de l'autre. Pour lever ce doute, je fis encore quelques expériences; je tendis, comme précédemment, les deux fils de cuivre (n° II) sur les barres de verre, et je mis le premier en communication avec l'intérieur et l'extérieur de la batterie; il reçut par là, au moment de la décharge, un courant d'une certaine tension que j'augmentai encore au moyen de deux tubes de verre remplis d'eau, en les insérant au conducteur devant l'intérieur de la batterie. Ce courant d'électricité, en partie libre, agit sur le second fil, et fit sortir de ses deux extrémités, surtout quand l'une ou l'autre était terminée en pointe fixe, de l'électricité de la même espèce que celle qui était introduite dans la batterie. Je plaçai alors cette pointe vis-à-vis de la boule qui se trouvait sur la balance à torsion, et je mesurai exactement, comme je l'ai décrit au commencement de ce paragraphe, d'après les arcs x observés, la quantité d'électricité éjectée par la pointe, après avoir mis les fils tendus à des distances d l'une de l'autre. De cette manière j'obtins :

Première expérience.

d.	x.
1	28° 49′
4	20° 26′

D'après la formule $b^{\sqrt{d}} = a\sqrt{\left(\sin\frac{x}{2}\tan\frac{x}{2}\right)}$,

dans laquelle A est une constante, on trouve

$$\log b = 0,84951 - 1.$$

En répétant l'expérience avec une autre charge de la batterie, il se montra des difficultés, en ce que la pointe ne laissait pas assez facilement échapper de l'électricité d'une tension faible; pour les éviter, je donnai à la batterie, pour les distances différentes d où étaient les fils, des charges inégales, dont je déterminai les valeurs tant par les tours du plateau que d'après la bouteille de Leyde. Les deux expériences suivantes sont faites d'après cette manière.

Deuxième expérience.

d.	Tours du plateau $= n$.	x.
1	6,08	37° 33′
4	7,95	35° 12′

La formule ci-dessus se changeant en

$$b^{\sqrt{d}} = \frac{A}{n}\sqrt{\left(\sin\frac{x}{2}\tang\frac{x}{2}\right)},$$

on obtient

$$\log b = 0,85495 - 1.$$

Troisième expérience.

d.	TOURS DU PLATEAU $= n$.	DÉCHARGES de la bouteille de Leyde.	x.
1	7,69	22,2	32° 42′
4	10,92	31,4	33° 24′
9	16,98	46,6	33° 42′

Si l'on réduit aux tours n du plateau les charges de la batterie, mesurées d'après la bouteille de Leyde, de manière qu'on fasse $22,2 = 7,69$ tours, on aura $31,4 = 10,88$

tours, et $46,6 = 16,14$ tours; en conséquence, on aura, pour $d = 1$, la valeur moyenne de $n = 7,69$; pour $d = 4$, $n = 10,90$, et pour $d = 9$, $n = 16,56$. Au moyen de ces valeurs, le calcul donne $\log b = 0,85327 - 1$. Ces trois valeurs de $\log b$ correspondent parfaitement à celles qui furent trouvées au commencement de ce paragraphe.

En réunissant tous les faits communiqués, j'espère qu'on ne rejettera pas sans examen mon opinion, que le courant induit électrique est produit par le courant inducteur à peu près de la même manière que l'électricité dissimulée par l'action de l'électricité libre.

RECHERCHES

Sur le développement successif de la matière végétale dans la culture du froment;

PAR M. BOUSSINGAULT.

Dans un Mémoire sur la nutrition des végétaux, M. Mathieu de Dombasle a cherché à renverser une opinion assez accréditée chez les cultivateurs, et qui consiste à croire que les plantes n'épuisent le sol qu'à l'époque où elles forment leurs semences, c'est-à-dire, depuis le moment de la fécondation jusqu'à celui de la maturité. Cette opinion s'appuie sur ce fait généralement admis, qu'une récolte fauchée lors de la floraison appauvrit beaucoup moins la terre que lorsqu'on la laisse mûrir. Ainsi les trèfles, les vesces sont considérés comme peu épuisants, quelquefois même comme décidément améliorants. On sait d'ailleurs que, de toutes les parties des végétaux, les graines sont celles qui, sous un même volume, renferment une plus grande quantité de substances nutritives, et, jusqu'à plus ample examen, il

est assez naturel de conclure qu'elles exigent, pour se constituer, une forte dose de principes nourriciers.

A ces faits, Mathieu de Dombasle en a opposé d'autres tout aussi bien constatés, et qui tendent à prouver que les plantes tirent autant de nourriture du sol dans le commencement de leur développement, qu'à une époque plus avancée. C'est ainsi que, dans le nombre des végétaux regardés comme épuisants au plus haut degré, il en est qui, dans la culture ordinaire, ne donnent jamais de graines; tels sont les choux, le pastel, le tabac. Enfin, on a reconnu que, dans les pépinières où l'on élève, pour les repiquer ensuite, de jeunes plânts de colza et de betteraves, le terrain perd rapidement sa fertilité.

Mathieu de Dombasle n'a pas hésité à attribuer le peu d'épuisement occasionné par certaines récoltes vertes à cette circonstance, qu'elles laissent dans la terre qui les porte des racines très-développées comparativement à leur masse totale. Pour compléter cette explication, il est peut-être utile de rappeler que ces récoltes vertes, qui épuisent peu ou qui améliorent, sont douées de la faculté de puiser dans l'atmosphère la plus forte proportion, si ce n'est la totalité, des éléments qui les constituent. Dans un travail que j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie, j'ai fait voir que la substance végétale produite dans le cours d'une culture ne se retrouve pas entière dans la récolte fauchée; pour le trèfle, la quantité de matière organique qui reste acquise au sol peut s'élever à plus des $\frac{8}{10}$ du poids du fourrage récolté (1). Ainsi on doit poser en principe que toute culture appauvrit le fond dans lequel elle croît, mais que l'épuisement, qui est toujours manifeste quand la plante est enlevée en totalité, devient d'autant moins sensible qu'il reste dans le sol une plus forte proportion de résidus.

La faible action épuisante que les végétaux exercent

(1) Mémoire sur les résidus des récoltes.

avant la floraison est donc loin d'établir que, durant leur jeunesse, ils prélèvent peu de chose sur le sol. Les faits qui ont été rapportés prouvent tout le contraire, en même temps qu'ils semblent indiquer qu'à cette époque la plante tient déjà en réserve, accumulée dans son organisme, une grande partie de la matière qui, plus tard, concourt à la formation de la semence. On sait, par exemple, que des végétaux arrachés après leur fécondation donnent des graines cependant lorsqu'on les entretient dans un état convenable d'humidité. J'ai vu de l'avoine en fleur dont l'extrémité des racines a été plongée dans de l'eau distillée produire, en petite quantité à la vérité, des semences bien constituées. Quand un végétal est fécondé, la reproduction de l'espèce est assurée; car, à la rigueur, elle parvient à s'accomplir sous les seules influences météorologiques. A partir de cette phase de la vie végétale, la matière accumulée se porte vers le point où le fruit doit se développer, on voit s'affaiblir graduellement la couleur verte des feuilles; les principes sucrés et amylacés, les substances azotées, abandonnent peu à peu les tiges et les racines. Le trèfle, la betterave, après avoir porté des graines, ne peuvent plus être considérés comme fourrage; ces plantes n'offrent plus alors qu'un tissu ligneux et insipide.

Par suite de cette élimination des principes succulents des racines, on comprend qu'une plante mûre ne laissera plus dans la terre qu'une faible partie des résidus utiles qu'elle y aurait laissés avant la maturité. C'est à cette diminution dans la matière organique des débris destinés à rester dans le sol que Mathieu de Dombasle a attribué l'épuisement occasionné par les récoltes; mais de cette concentration des sucs vers un seul organe, s'ensuit-il nécessairement que, du moment où elle commence à se réaliser, la terre et l'atmosphère n'interviennent plus dans les phénomènes de la végétation, et que tout le travail d'organisation qui s'accomplit depuis la floraison s'opère uniquement avec les ma-

tériaux amassés dans les tissus de la plante? C'est là ce que croyait Mathieu de Dombasle. Cependant, après la floraison, les feuilles continuent longtemps encore leurs fonctions aériennes, et l'humidité qu'elles laissent exhaler par la transpiration prouvent que les racines n'ont pas cessé de fonctionner. On le voit, à une opinion peu fondée on avait substitué une opinion entièrement contraire, mais qui n'était pas suffisamment justifiée dans toutes ses parties : on prétendait que l'assimilation se réalise surtout pendant la fructification; Mathieu de Dombasle soutint qu'une plante fécondée renferme déjà tous les éléments nécessaires à la maturation, et, comme l'habile agronome ne trouvait plus pour la défense des argumens aussi décisifs que l'étaient ceux qu'il avait employés pour l'attaque, il en appela à l'expérience.

Le 26 juin 1844, le blé étant en fleur, on en marqua quarante pieds bien égaux entre eux. On arracha vingt de ces pieds, laissant les autres en observation. Après avoir nettoyé et desséché les vingt premiers plants, on trouva qu'ils se composaient de :

	gr
Racines	42,6
Tiges, épis et feuilles	126,2
	168,8

Lors de la moisson, qui eut lieu le 28 août, on enleva du champ les vingt pieds restants; ils donnèrent :

	gr
Racines	27,2
Paille, épis et balle, feuilles	85,7
Grain	66,5
	179,4

En deux mois, les plants n'ont augmenté que de 11 grammes, c'est-à-dire à peu près de la seizième partie de leur poids. Le blé avait donc acquis, depuis la semaille jusqu'à la floraison, les quinze seizièmes de son poids total. On reconnaît aussi que si ce froment eût été fauché lors de la floraison, il aurait rendu à la terre, par ses racines, le

quart du poids de la récolte, tandis qu'après la maturité il n'a laissé dans le sol que le septième du poids des gerbes.

Ces recherches, qui avaient été provoquées par un concours ouvert devant la Société d'Agriculture de Lyon, furent jugées dignes d'une récompense. Néanmoins, le travail de Mathieu de Dombasle fit peu de sensation dans le monde agricole ; il arriva, ce qui n'est pas sans exemple dans les fastes académiques, que le Mémoire fut couronné et oublié.

Cependant les conséquences pratiques qui se déduisent de l'expérience que j'ai rapportée sont importantes; car, s'il est vrai qu'une plante coupée, lorsqu'elle est en fleur, contient déjà, à très-peu près, la totalité de la matière organique, c'est-à-dire autant de substance nutritive qu'elle en renfermera deux ou trois mois après, lors de la maturité, on conçoit que, sous le rapport de la production des fourrages, il deviendrait plus avantageux de faner certaines récoltes vertes que d'attendre le grain qu'elles pourraient donner plus tard. Ainsi se trouverait justifiée la méthode, recommandée par quelques cultivateurs, de multiplier les semis et les coupes fourragères sur la même sole annuelle, méthode dont le mérite est encore très-douteux aux yeux de bon nombre de praticiens, mais qui, si elle était fondée, aurait l'avantage, toujours si appréciable dans la culture, de produire le plus possible de fourrages dans un intervalle de temps donné. Aussi, laissant de côté la question de l'épuisement du sol qui devient tout à fait secondaire, je me suis particulièrement attaché à vérifier l'exactitude de l'expérience qui permettait de tirer les conséquences qui viennent d'être exposées.

J'ai procédé comme Mathieu de Dombasle; mais, pour mettre les résultats complétement à l'abri des erreurs très-graves qui peuvent naître de l'imperfection de la dessiccation, j'ai cru devoir analyser les matières enlevées au sol; en effet, l'analyse offre une grande sécurité, parce que

indiquant les quantités absolues de carbone et d'azote, il est indifférent que les substances qui contiennent ces deux éléments soient pesées à un état plus ou moins sec.

Le 19 mai 1844, j'ai choisi dans un champ de froment une place où la végétation me parût bien uniforme; là j'ai arraché 450 plants, lesquels, débarrassés de la terre adhérente par un lavage, et desséchés par une longue exposition à l'air, ont pesé :

	gr
Tiges et feuilles	277,4
Racines	46,0
	323,4

Le 9 juin, époque à laquelle le froment entrait en fleur, j'ai pris à la même place 450 plants qui, desséchés, ont donné :

	gr
Épis en fleur	110,5
Tiges et feuilles	850,0
Racines	99,5
	1060,0

Le 15 août, lors de la moisson, 450 plants ont fourni :

	gr
Grain	677,1
Épis et balle	154,5
Paille	927,5
Racines	121,0
	1880,1

Rapportant, pour faciliter la comparaison, l'accroissement constaté au plant moyen, on a

	gr	
Le 19 mai, plant sans fleur	0,62	} 1,74
Le 9 juin, plant en fleur	2,36	} 1,82
Le 15 août, plant chargé de grain	4,18	

On voit que, depuis la floraison jusqu'à la moisson, l'accroissement de la matière sèche a eu lieu dans le rapport de 100 à 177, c'est-à-dire que, dans cet intervalle, le poids de la plante a presque doublé; résultat bien différent de celui auquel est arrivé Mathieu de Dombasle.

L'analyse de ces récoltes successives a été faite en prenant, pour représenter chacune d'elles, des quantités proportionnelles des divers organes.

Plants pris le 19 mai.

	gr	
Tiges et feuilles.......	0,515	0,615
Racines..............	0,100	

On a dosé :

	gr		gr
Acide carbonique.....	0,841	Carbone.......	0,2293
Eau................	0,320	Hydrogène.....	0,0395

Le même poids, contenant la même proportion des deux matières, a donné $0^{gr},0111$ d'azote (1).

Par l'incinération, on a retiré 3,7 pour 100 de cendres.

On a, pour la composition des plants arrachés le 19 mai :

Carbone....................	37,3
Hydrogène..................	5,8
Azote......................	1,8
Oxygène....................	51,4
Matières minérales..........	3,7
	100,0

Plants pris le 9 juin.

Soumis à l'analyse :

	gr	
Tiges et feuilles.......	0,460	
Épis en fleur.........	0,060	0,572
Racines.............	0,052	

On a dosé :

	gr		gr
Acide carbonique.....	0,804	Carbone.......	0,2193
Eau................	0,317	Hydrogène.....	0,0352

$1^{gr},144$ du même mélange ont donné $0^{gr},0102$ d'azote (2).

Ces plants ont laissé 2,5 pour 100 de cendres.

---

(1) Azote, $9^{cc},2$; température, $16^{o},2$; baromètre à 0 degré, $0^{m},747$.

(2) Azote, $9^{cc},5$; température, 8 degrés; baromètre à 0 degré, $0^{m},7517$.

Composition.

Carbone	38,3
Hydrogène	6,3
Azote	0,9
Oxygène	52,1
Matières minérales	2,5
	100,0

Plants récoltés le 15 *août.*

Soumis à l'analyse :

	gr	
Froment	0,360	1,000
Balles	0,081	
Paille	0,493	
Racines	0,065	

On a dosé :

	gr		gr
Acide carbonique	1,364	Carbone	0,372
Eau	0,612	Hydrogène	0,068

1 gramme du mélange a donné $0^{gr},009$ d'azote (1), et 0,040 de cendres.

Composition.

Carbone	37,2
Hydrogène	6,8
Azote	0,9
Oxygène	51,1
Matières minérales	4,0
	100,0

La récolte faite dans le champ où l'on avait prélevé les plants dont on vient de présenter les analyses, a été pesée avec le plus grand soin. On a d'abord pris le poids des gerbes ; on a fait passer à la machine à battre, puis, après avoir mesuré le grain, on a conclu, par différence, le poids de la paille et celui des balles. On a eu par hectare, en ne déduisant pas la semence :

Froment, $21^{hect},88$ pesant	1685 kilogr.
Paille et balle	2681
Racines (évaluées)	300
Poids de la récolte sur 1 hectare	4666

(1) Azote, $7^{cc},5$; température, 10 degrés ; baromètre à 0 degré, $0^{m},7515$.

Le rapport du grain à la paille et aux balles est sensiblement le même que celui qui s'est présenté dans les quatre cent cinquante plants pris comme échantillons. Il y a donc lieu de présumer que le poids des plants enlevés avant la moisson, le 19 mai et le 9 juin, représentent, dans les mêmes limites d'erreur, l'état de la culture du champ à ces deux époques. On a ainsi, pour l'accroissement successif de la matière organique sur la surface d'un hectare, les résultats consignés dans le tableau suivant :

ÉPOQUES auxquelles les plants ont été enlevés.	POIDS de la plante desséchée par hectare.	CARBONE.	HYDROGÈNE.	OXYGÈNE.	AZOTE.	MATIÈRES minérales.
19 mai 1844............	(*) 689^k	257^k,0	40^k,0	354^k,1	12^k,4	25^k,5
9 juin..............	2631	1007,7	163,1	1370,7	23,7	65,8
Accroissement du 19 mai au 9 juin.	1942	750,7	123,1	1016,6	11,3	40,3
15 août, moisson.......	4666	1735,8	317,3	2324,3	42,0	186,6
Accroissement du 9 juin au 15 août............	2035	728,1	154,2	953,6	18,3	120,8

(*) En déduisant pour la semence 150 kilogrammes contenant : carbone, 39^k,5; azote, 3 kilogrammes ; cendres, 3 kilogrammes.

On reconnaît que si, avant la floraison du 19 mai au 9 juin, il y a eu 751 kilogrammes de carbone et 11 $\frac{1}{3}$ kilogrammes d'assimilés par hectare, les mêmes principes fixés dans la plante, depuis l'apparition des fleurs jusqu'à la moisson, ont été 728 kilogrammes de carbone et 18 kilogrammes d'azote. Sans doute, et comme on pouvait d'ailleurs le prévoir, le développement de la matière organisée, d'abord très-rapide, s'est ralenti à mesure que le végétal approchait de sa perfection, mais ce développement a encore continué

avec assez d'intensité pour que le poids de la récolte en fleur ait été presque doublé à l'époque de la maturité.

L'analyse montre, en outre, quelle a été la marche de l'assimilation des éléments constitutifs de la céréale pendant toute la durée de la culture. Ainsi, en supposant que la végétation ait continué sans interruption depuis le 1er mars jusqu'au 15 août, on trouve les nombres suivants :

ÉPOQUES DE LA VÉGÉTATION.	NOMBRE de jours écoulés.	EN UN JOUR ET SUR UN HECTARE.			
		Matière végétale sèche.	Carbone.	Azote.	Matières minérales
		k	k	k	k
Du 1 mars au 19 mai....	79	6,82	2,75	0,12	0,28
Du 19 mai au 9 juin.....	21	92,95	35,75	0,54	1,92
Du 9 juin au 15 août....	56	36,34	13,00	0,33	2,16
Assimilation moy. par jour.	"	28,95	10,88	0,25	1,18

J'avais rassemblé les matériaux nécessaires pour exécuter un travail du même genre sur une légumineuse ; mais l'accroissement survenu dans le poids de la matière végétale sèche a été tellement considérable entre la floraison et la maturation des fèves, que j'ai pu me dispenser d'avoir recours à l'analyse pour arriver à la conséquence qui se déduit de l'expérience entreprise sur la culture du froment, et ces résultats, comme ceux que je viens de présenter, conduisent à une conclusion toute différente de celle à laquelle s'était arrêté Mathieu de Dombasle, car ils établissent, qu'après leur fécondation, les plantes continuent à fixer, dans leur organisme, les éléments du sol et de l'atmosphère.

MÉMOIRE

Sur les couleurs développées dans des fluides homogènes par la lumière polarisée (1);

Par Augustin FRESNEL.

(Présenté à l'Académie, le 30 mars 1818.)

M. Biot a remarqué le premier que plusieurs fluides homogènes jouissent de la propriété de colorer la lumière polarisée, et de faire renaître l'image extraordinaire, comme les substances cristallisées. Cette belle découverte a démontré que l'action polarisante des corps pouvait s'exercer indépendamment de l'arrangement des particules, et en conséquence de leur seule constitution.

L'analogie me faisait soupçonner depuis longtemps que ces phénomènes de polarisation devaient être accompagnés de la double réfraction dans les fluides comme dans les cristaux. La coloration de la lumière s'explique d'ailleurs d'une manière si satisfaisante dans la théorie des ondulations par le concours de deux systèmes d'ondes, qu'il était très-naturel de supposer leur existence, même dans des fluides homogènes, en voyant ces fluides développer des couleurs. Néanmoins aucune hypothèse n'avait plus besoin d'être confirmée par une expérience directe.

La théorie des interférences indique plusieurs moyens très-simples de reconnaître les plus légères différences dans la marche de deux systèmes d'ondes sorties d'une source commune. On peut employer à cet effet le phénomène des anneaux colorés, par exemple, ou celui des franges produites par le concours de deux faisceaux lumineux.

J'ai d'abord suivi le premier procédé. Ayant serré deux prismes l'un contre l'autre, de manière à former des an-

---

(1) On croyait ce Mémoire perdu. Il a été retrouvé récemment dans les papiers de M. Léonor Fresnel, frère de l'illustre académicien.

neaux colorés, j'ai fait tomber sur les surfaces en contact la lumière d'une lampe, sous l'incidence de la polarisation complète. Les rayons ainsi réfléchis traversaient un tube de $1^{m},715$ de longueur, rempli d'essence de térébenthine. Je me servais d'une lorgnette de spectacle pour bien distinguer les anneaux, à cause de l'éloignement des prismes.

Avec la lunette seule, je n'apercevais pas plus d'anneaux au travers de l'huile de térébenthine qu'avant l'interposition de ce liquide; mais en plaçant un rhomboïde de chaux carbonatée dans l'intérieur de la lunette, de manière à produire deux images séparées, je voyais dans chacune d'elles un bien plus grand nombre d'anneaux : ils s'étendaient à des épaisseurs de la lame d'air où je n'avais pas pu en découvrir auparavant(1). Or, on ne peut expliquer l'apparition de ces nouveaux anneaux qu'en supposant une diminution dans l'intervalle des deux systèmes d'ondes concourant à leur production; ou, ce qui revient au même, en supposant qu'une partie du système d'ondes réfléchi à la première surface de la lame d'air, a parcouru le tube un peu plus lentement qu'une partie de celui réfléchi à la seconde surface. Ainsi il faut admettre que l'essence de térébenthine, comme les cristaux, ralentit la marche de la lumière suivant deux degrés différents. Les rayons réfléchis à la première et à la seconde surface de la lame d'air devant éprouver également la double réfraction de ce liquide, il en résulte que les nouveaux anneaux ne sont formés que par la moitié au plus de la lumière qui arrive à l'œil; en sorte qu'ils doivent être beaucoup plus faibles que les autres.

(*) M. Arago avait fait depuis longtemps une expérience absolument pareille sur des plaques de cristal de roche taillées perpendiculairement à l'axe. On produit le même phénomène avec des lames de cristal de roche ou de sulfate de chaux parallèles à l'axe, d'une épaisseur peu considérable. Quand elles ont seulement 1 ou 2 millimètres d'épaisseur, les nouveaux anneaux se trouvent parfaitement séparés de ceux qui entourent le point de contact, et mettent en évidence la double réfraction du cristal. Cette propriété des lames cristallisées pourrait être également appliquée à la mesure de leur double réfraction, de leur épaisseur, ou de la courbure des objectifs de télescope.

On pourrait objecter aux conséquences que je viens de tirer de cette expérience, que les circonstances qui font naître les nouveaux anneaux étant précisément celles qui développent des couleurs dans l'essence de térébenthine, il est possible que la simplification de la lumière soit la cause de l'augmentation du nombre d'anneaux apparents. Mais d'abord je répondrai que ces couleurs étaient très-faibles à cause de la grande longueur du tube, et que même, dans certaines positions du rhomboïde de spath calcaire, elles devenaient insensibles; les deux images ne paraissant plus avoir alors que la couleur propre du liquide. On verra d'ailleurs que plusieurs autres phénomènes confirment l'hypothèse d'une double réfraction dans l'essence de térébenthine.

Ayant porté le même tube dans une chambre obscure, je l'ai dirigé vers un point lumineux, devant lequel j'avais mis une pile de glaces pour polariser la lumière incidente. J'ai placé à l'autre extrémité du tube, sous l'angle de la polarisation complète, deux glaces non étamées très-légèrement inclinées entre elles, de manière à produire des franges d'une largeur suffisante. Alors, en observant avec une loupe la lumière ainsi réfléchie, j'ai reconnu l'existence de trois systèmes de franges qui se touchaient et se mêlaient un peu les uns aux autres, parce que le tube n'était pas assez long.

Le système du milieu, qui provenait de la superposition des franges produites par le concours des rayons qui avaient éprouvé la même réfraction, était beaucoup plus intense que les deux autres, résultant du concours des rayons de réfractions opposées. La lumière n'était pas assez vive pour que je pusse bien distinguer dans ceux-ci la position des bandes obscures du premier ordre; mais il m'a semblé, autant que je pouvais en juger, que la distance du centre de chacun des systèmes de droite et de gauche au centre de celui du milieu était de sept largeurs de franges. Il résulte d'une autre expérience plus précise rapportée à la fin de ce Mémoire, que les faibles couleurs produites par ce tube appartiennent au sixième ordre.

Si l'existence de la double réfraction dans l'essence de térébenthine établit une grande analogie entre le phénomène de sa coloration et celui que présentent les lames minces cristallisées parallèles à l'axe, ils diffèrent cependant essentiellement sous plusieurs rapports. Dans les lames cristallisées, la rotation du rhomboïde de spath calcaire ne fait varier que l'intensité de la teinte sans changer sa nature; dans l'essence de térébenthine, au contraire, le même mouvement du rhomboïde change la nature de la teinte sans diminuer son intensité. Enfin, l'on peut faire tourner sur lui-même le tube qui contient ce liquide, sans apporter aucun changement ni à la nature ni à la vivacité des couleurs; tandis qu'en faisant tourner la lame cristallisée dans son plan, l'on augmente ou l'on affaiblit les couleurs jusqu'à les amener au blanc parfait.

La modification singulière que la double réflexion complète, dans un azimut de 45 degrés, imprime à la lumière polarisée, et qui lui donne les apparences d'une entière dépolarisation, lorsqu'on l'analyse avec un rhomboïde de spath calcaire, ne lui ôte point cependant, comme on le sait, la propriété de colorer les lames cristallisées. Ces teintes ont même autant de vivacité que celles produites par la lumière polarisée ordinaire, et sont seulement d'une autre nature. Or, voici encore une différence caractéristique entre l'action des lames cristallisées et celle de l'essence de térébenthine. La lumière ainsi modifiée ne se colore plus dans ce liquide, et paraît, à cette épreuve, aussi complétement dépolarisée que lorsqu'on la fait passer immédiament au travers d'un rhomboïde de chaux carbonatée.

A l'extrémité d'un tube de $0^{m},50$ de longueur, rempli d'essence de térébenthine, j'ai placé un parallélipipède de verre, dans lequel les rayons incidents, préalablement polarisés, éprouvaient deux réflexions complètes suivant un plan incliné de 45 degrés sur celui de la polarisation primitive. En regardant alors par l'autre extrémité de ce tube

avec un rhomboïde de spath calcaire, je n'apercevais plus aucune trace de coloration, lorsque les rayons avaient été réfléchis sous une incidence convenable dans le parallélipipède de verre; tandis que la lumière polarisée, qui n'avait pas éprouvé cette modification, développait dans le même tube des couleurs de la plus grande vivacité. Le cristal de roche taillé perpendiculairement à l'axe produit, dans cette circonstance, le même effet que l'essence de térébenthine.

La lumière polarisée, modifiée par la double réflexion complète, ne se colorant plus dans ce fluide, l'analogie indique qu'elle ne doit plus produire qu'un seul système de franges avec l'appareil que j'ai décrit plus haut, et c'est aussi ce que l'expérience confirme.

Il est naturel de conclure de ces deux expériences que la lumière ainsi modifiée n'éprouve plus qu'une seule réfraction dans l'essence de térébenthine. Pour vérifier cette conséquence et m'assurer qu'en effet la lumière, en sortant du tube, ne contenait plus alors qu'un seul système de franges, je lui ai fait traverser une lame mince cristallisée, et j'ai vu qu'elle développait les mêmes couleurs que lorsqu'elle n'avait pas traversé l'huile de térébenthine, ou du moins que ces teintes en différaient fort peu, et que cette légère différence tenait à la couleur propre du liquide, comme on le reconnaît en faisant passer la lumière incidente au travers de ce fluide avant sa polarisation primitive.

Mais voici une autre expérience assez remarquable qui démontre encore mieux peut-être que, dans le cas dont il s'agit, l'huile de térébenthine rend la lumière telle qu'elle la reçoit. Lorsque des rayons polarisés ont éprouvé la double réflexion complète dans un azimut de 45 degrés, par rapport au plan primitif de polarisation, si on leur fait subir de nouveau deux réflexions complètes dans un second parallélipipède de verre, ils reprennent toutes les apparences et les propriétés de la polarisation parfaite; c'est un phéno-

mène qui s'explique aisément par la théorie exposée dans mon dernier Mémoire. Or, le même phénomène a encore lieu en plaçant entre les deux parallélipipèdes un tube rempli d'essence de térébenthine, quelle que soit sa longueur. Ainsi les modifications imprimées aux rayons incidents ne sont point altérées dans ce cas par l'interposition du fluide.

Quand, au lieu de placer le parallélipipède de verre à l'extrémité antérieure du tube, on le met du côté de l'œil, la lumière polarisée, qui, après avoir traversé l'essence, est réfléchie deux fois dans ce parallélipipède, offre les caractères d'un faisceau lumineux qui aurait traversé une lame mince parallèle à l'axe. Car, en faisant tourner le rhomboïde de spath calcaire, on ne fait plus alors varier la nature, mais seulement l'intensité des teintes, qui passent au blanc parfait dans deux positions rectangulaires de sa section principale, lorsqu'elle est inclinée de 45 degrés sur le plan de la double réflexion. Les teintes parviennent, au contraire, à leur plus haut degré de vivacité, lorsque la section principale du rhomboïde est parallèle ou perpendiculaire à ce plan. Quant à leur nature, elle dépend de la position du parallélipipède de verre, et est précisément celle des couleurs qu'on obtiendrait directement sans son interposition, en dirigeant la section principale du rhomboïde de spath calcaire dans le même azimut.

En modifiant ainsi, par la double réflexion complète, la lumière polarisée qui a traversé l'huile de térébenthine, on peut combiner les effets de ce liquide avec ceux d'une lame cristallisée parallèle à l'axe, comme on combine entre eux les effets produits par deux lames de cette espèce. Mais pour que l'addition ou la soustraction des teintes s'exécutent d'une manière tout à fait semblable, pour obtenir, par exemple, la disparition totale d'une des images avec une lame d'une épaisseur convenable, il faut que le plan de la double réflexion soit tourné dans un certain azimut dépendant de la longueur du tube; cet azimut, dans le

cas particulier de la compensation parfaite, est celui qui donne la même teinte que la lame cristallisée. Lorsque l'axe de la lame est à gauche du plan de double réflexion, les teintes s'ajoutent; quand il est à droite, elles se retranchent. Ce serait l'inverse avec un fluide tel que l'essence de citron, dont l'action polarisante s'exerce en sens contraire de celle de l'huile de térébenthine.

Dans le dernier Mémoire que j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie, j'ai décrit un appareil au moyen duquel on peut, avec une lame cristallisée parallèle à l'axe, imiter les phénomènes de coloration que présentent l'essence de térébenthine et les plaques de cristal de roche taillées perpendiculairement à leur axe. Il consiste en deux parallélipipèdes de verre disposés rectangulairement, entre lesquels on place la lame cristallisée, de façon que le faisceau lumineux polarisé éprouve la double réflexion complète en sortant de la lame comme avant d'y entrer, mais suivant un plan perpendiculaire au premier, ces deux plans étant inclinés l'un et l'autre de 45 degrés sur l'axe du cristal. Ce système de la lame cristallisée et des deux parallélipipèdes de verre ainsi combinés jouit de la singulière propriété, qu'on peut le faire tourner sur lui-même entre les deux plans de polarisation extrêmes, comme une plaque de cristal de roche perpendiculaire à l'axe, sans changer la nature ni l'intensité des couleurs; tandis qu'en faisant varier un de ces deux plans par rapport à l'autre, on obtient toutes les teintes diverses que présentent, dans le même cas, les plaques de cristal de roches perpendiculaires à l'axe et l'essence de térébenthine. Il y a plus : quand on a fait éprouver à la lumière incidente la double réflexion complète suivant un plan incliné de 45 degrés sur celui de la polarisation primitive, elle ne se colore plus en traversant cet appareil, dans quelque azimut qu'il soit tourné; et lorsqu'elle éprouve cette modification en sortant de l'appareil, au lieu de la recevoir avant d'y entrer, elle prend encore,

comme avec l'essence de térébenthine en pareil cas, les mêmes apparences que si elle était reçue dans le rhomboïde de spath calcaire, immédiatement après sa sortie de la lame cristallisée.

Enfin, lorsque la lumière incidente, après avoir été complétement dépolarisée par deux réflexions consécutives avant d'entrer dans cet appareil, est encore, à sa sortie, réfléchie deux fois complétement dans un parallélipipède de verre, elle se trouve ramenée à l'état de polarisation parfaite, comme si l'on supprimait l'appareil, ou qu'on lui substituât un tube rempli d'essence de térébenthine. Il paraîtrait donc, d'après cette série de faits nombreux et variés, que cet appareil jouit de toutes les propriétés optiques de l'huile de térébenthine. C'est aussi ce que j'avais pensé d'abord; mais un examen plus attentif m'a fait reconnaître qu'il existait une différence notable entre ces deux espèces de phénomènes.

Ayant placé un parallélipipède de verre à l'extrémité d'un tube de $0^{m},50$, rempli d'essence de térébenthine, de façon que les rayons qui l'avaient traversé éprouvassent la double réflexion complète parallèlement au plan primitif de polarisation, j'ai fait disparaître l'image extraordinaire, qui était d'un rouge violâtre, par l'interposition d'une lame de chaux sulfatée, d'une épaisseur de $0^{mm},12$ environ, qui donnait à peu près la même teinte dans l'image extraordinaire, c'est-à-dire le rouge extrême du second ordre, ou le pourpre du troisième. Or, en calculant sur cette donnée la rotation apparente du plan de polarisation des rayons rouges dans l'essence de térébenthine, d'après la théorie de l'appareil dont je viens de parler, je trouvais un angle plus que double de celui que M. Biot avait déterminé par des mesures directes, et qu'il avait eu la bonté de me communiquer. Pour découvrir à quoi pouvait tenir une aussi grande différence, j'ai voulu observer la série des couleurs produites par l'essence de térébenthine, depuis 0 jusqu'à

50 centimètres de longueur. Après avoir placé le tube dans une position verticale, et fixé la section principale du rhomboïde de spath calcaire dans le plan primitif de polarisation, j'ai fait graduellement écouler le liquide qu'il contenait, et j'ai été très-étonné de voir l'image extraordinaire passer par un blanc légèrement coloré, et enfin arriver au noir sans offrir le rouge du premier ordre.

Il est assez différent du rouge du second ordre pour qu'il soit facile de les distinguer; et, par la seule inspection des teintes, on peut reconnaître que celui qui répond à 50 centimètres d'essence de térébenthine n'est pas du premier ordre. D'ailleurs, ce qui détermine encore mieux son rang, c'est l'épaisseur de la lame cristallisée qui faisait disparaître l'image extraordinaire. On objectera peut-être que cette disparition n'ayant lieu qu'à l'aide du parallélipipède de verre, il est possible que la double réflexion altère la teinte produite par l'essence de térébenthine, et la fasse descendre dans l'ordre des anneaux. Mais d'abord, en regardant à la fois les images directes et les images réfléchies, on peut s'assurer que leur couleur est absolument la même; en second lieu, l'expérience et la théorie démontrent que la double réflexion, sous l'incidence qui produit la dépolarisation complète, modifie tous les rayons de la même manière, et que si elle change, en général, l'intervalle qui sépare deux systèmes d'ondes polarisés en sens contraires, ce changement, pour chaque espèce de rayons, est proportionnel à la longueur de leurs vibrations; en sorte qu'il ne peut faire monter ni descendre la teinte, dont le rang dépend uniquement du rapport de la partie constante de l'intervalle aux longueurs des différentes ondes lumineuses. Ainsi, il reste constant que l'image extraordinaire passe du noir au rouge du second ordre, sans passer par le rouge du premier.

Cette marche des couleurs, si bizarre en apparence, et si opposée à celle qu'on observe dans les anneaux réfléchis,

peut s'expliquer d'une manière fort simple, en admettant que la double réfraction, dans l'essence de térébenthine, n'est pas la même pour les rayons de diverses natures, et qu'elle est plus forte pour ceux dont les vibrations sont plus courtes. On sait que la double réfraction des rayons violets dans le spath calcaire est plus prononcée que celle des rayons rouges; il est probable qu'il en est de même dans les autres cristaux; mais ces différences sont trop légères par rapport à la différence de vitesse entre le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire. C'est pourquoi nous avons supposé, jusqu'à présent, que l'intervalle qui sépare les deux systèmes d'ondes était sensiblement le même pour les rayons de diverses couleurs. Mais, lorsque la double réfraction devient extrêmement faible, comme dans l'essence de térébenthine, où les vitesses des rayons ordinaires et extraordinaires diffèrent à peine d'un millionième, il est très-possible que la dispersion de la double réfraction (s'il m'est permis de m'exprimer ainsi) soit une partie considérable de la double réfraction elle-même. Il résulterait, de quelques mesures approximatives rapportées dans la suite de ce Mémoire, que la double réfraction des rayons violets extrêmes devrait être une fois et demie environ celle des rayons rouges extrêmes. Cette hypothèse ne me paraît point improbable ni même contraire à l'analogie, qu'on ne doit pas rigoureusement étendre jusqu'à la limite; et, en l'adoptant, on peut se rendre compte de cette anomalie singulière dont je viens de parler, qui, sans cela, me paraîtrait inexplicable.

On conçoit aisément que l'intervalle entre les deux systèmes d'ondes n'étant plus le même pour tous les rayons, comme dans le phénomène des anneaux colorés, ou celui que présentent les lames minces cristallisées, mais changeant avec la longueur des vibrations lumineuses, la marche des couleurs peut être toute différente, puisque cet intervalle est d'autant plus grand que les vibrations sont

plus courtes, ce qui fait varier doublement le rapport entre sa longueur et celle des ondes lumineuses. Voilà comment on arrive au rouge du second ordre, lorsque l'intervalle entre les deux systèmes d'ondes rouges n'a pas encore dépassé celui qui donnerait le rouge du premier ordre, s'il était le même dans les rayons de diverses couleurs.

Cette hypothèse permet d'appliquer à la polarisation exercée par les fluides homogènes la théorie que j'ai exposée dans le Mémoire précédent, pour expliquer les couleurs produites par une lame cristallisée comprise entre deux parallélipipèdes de verre perpendiculaires entre eux. Il est naturel de penser, d'après les rapports intimes qui existent entre ces deux classes de phénomènes, qu'ils résultent des mêmes modifications générales imprimées aux rayons lumineux, et que la différence qu'ils présentent dans la marche des couleurs tient uniquement à ce que la double réfraction n'est pas la même pour les rayons divers dans les particules fluides, tandis qu'elle est sensiblement constante, au contraire, dans la lame cristallisée.

Il est évident qu'il faut chercher, dans la constitution individuelle de ces particules, la cause des phénomènes de coloration auxquels elles donnent naissance, puisqu'ils sont indépendants de leur arrangement, et qu'en même temps ils dépendent tellement de leur forme, que, selon la nature du fluide, la lumière tourne de gauche à droite, ou de droite à gauche, pour me servir de l'expression de M. Biot. Je supposerai donc qu'elles sont constituées de manière à imprimer aux rayons lumineux qui les traversent, les modifications qu'ils éprouvent dans l'appareil dont je viens de parler; c'est-à-dire que la lumière, à son entrée dans chaque particule et à sa sortie, reçoit la même modification que celle qui lui est imprimée par la double réflexion complète, et qu'elle éprouve, en outre, dans son intérieur la double réfraction.

Je vais d'abord démontrer qu'il résulte de cette hypo-

thèse, que les rayons qui ont été réfractés ordinairement ou extraordinairement dans une particule ainsi constituée éprouvent toujours la même réfraction dans les particules semblables qu'ils traversent successivement, quels que soient les azimuts de leurs axes.

Soient OO', *Pl. II, fig.* 1, la section principale de la première particule, RR' et TT' les deux plans qui répondent à ceux de double réflexion dans l'appareil, et que j'appellerai *plan d'entrée* et *plan de sortie :* ils sont, par hypothèse, perpendiculaires entre eux et inclinés de 45 degrés sur la section principale. Soit $O_1O'_1$ la section principale de la seconde particule traversée par le faisceau lumineux $R_1R'_1$, et $T_1T'_1$ les deux plans suivants lesquels il éprouve, à son entrée et à sa sortie, la modification dont on vient de parler. Elle consiste, comme on l'a vu dans le Mémoire précédent, en ce que chaque faisceau lumineux se divise en deux systèmes d'ondes polarisés, l'un parallèlement, l'autre perpendiculairement au plan, le premier se trouvant en arrière d'un quart d'ondulation par rapport au second.

Considérons la partie du rayon incident qui a été réfractée ordinairement dans la première particule et polarisée ainsi, suivant OO', et représentons-la par O. En sortant de la particule, elle se divise en deux systèmes d'ondes polarisés, l'un parallèlement, l'autre perpendiculairement à TT', dont les intensités, ainsi que les positions relatives, sont représentées par les expressions suivantes :

$$\sqrt{\frac{1}{2}}\cdot O_{\frac{1}{4}}, \qquad \sqrt{\frac{1}{2}}\,O.$$
$$\text{O.T.} \qquad\qquad \text{O.R.}$$

En effet, comme je l'ai observé dans le Mémoire précédent, lorsqu'un système d'ondes se décompose ainsi en deux autres, les vitesses des molécules éthérées, dans leurs oscillations, ne sont pas proportionnelles au carré des cosinus et sinus de l'angle OCT, mais simplement au sinus et au

cosinus ; en sorte que ce n'est pas la somme des vitesses qui est constante, mais la somme des carrés des vitesses. C'est une conséquence du principe de la conservation des forces vives dans les vibrations des corps élastiques.

Par l'action du plan d'entrée $R_1R'_1$ de la seconde particule, chacun de ces faisceaux lumineux se divisera en deux autres systèmes d'ondes, ce qui en produira quatre. Si l'on représente par p l'angle OCO, que la section principale de la seconde particule fait avec celle de la première, les intensités de leurs vibrations seront :

$$\sqrt{\frac{1}{2}}.\sin p.O_{\frac{1}{2}}, \quad \sqrt{\frac{1}{2}}.\cos p.O_{\frac{1}{4}}, \quad \sqrt{\frac{1}{2}}.\cos p.O_{\frac{1}{4}}, \quad \sqrt{\frac{1}{2}}.\sin p.O.$$
$$O.T.R_1. \qquad O.T.T_1. \qquad O.R.R_1. \qquad O.R.T'_1.$$

Par le fait de la double réfraction de cette particule, chacun de ces faisceaux se divisera ensuite en deux autres, polarisés parallèlement et perpendiculairement au plan $O_1O'_1$. Les intensités des systèmes d'ondes réfractés ordinairement dans la seconde particule seront représentées par les expressions suivantes :

$$+\frac{1}{2}\sin p.O_{\frac{1}{2}}, \quad +\frac{1}{2}\cos p.O_{\frac{1}{4}}, \quad +\frac{1}{2}\cos p.O_{\frac{1}{4}}, \quad -\frac{1}{2}\sin p.O.$$
$$O.T.R_1.O_1. \qquad O.T.T_1.O_1. \qquad O.R.R_1.O_1. \qquad O.R.T'_1.O'_1.$$

Ajoutant les expressions qui ont la même caractéristique, et faisant attention que $\frac{1}{2}$ à la caractéristique équivaut au signe moins, on a : $-\sin p.O$ et $\cos p.O_{\frac{1}{4}}$. Or, la résultante de ces deux systèmes d'ondes, différant d'un quart d'ondulation, est $\sqrt{O^2.\sin^2 p+O^2.\cos^2 p}$ ou O. Ainsi les ondes provenant de la réfraction ordinaire de la première particule subissent en entier la réfraction ordinaire dans la seconde, parce que, dans l'une et dans l'autre, la section principale est tournée du même côté par rapport au plan d'entrée.

On peut encore vérifier ce principe en calculant l'inten-

sité de la lumière polarisée, suivant le plan $E_1E'_1$ perpendiculaire à la section principale $O_1O'_1$. On trouve, pour les quatre faisceaux constituants :

$$-\frac{1}{2}\sin p.O_{\frac{1}{2}}, \quad \text{ou} \quad +\frac{1}{2}\sin p.O, \qquad +\frac{1}{2}\cos p.O_{\frac{1}{4}},$$
$$O.T.R_1.E'_1 \qquad\qquad O.T.T_1.E_1.$$

$$-\frac{1}{2}\cos p.O_{\frac{1}{4}}, \qquad -\frac{1}{2}\sin p.O.$$
$$O.R.R_1.E'_1, \qquad O.R.T'_1.E'_1.$$

On voit que les expressions ayant la même caractéristique sont égales et de signes contraires, en sorte que ces quatre systèmes d'ondes se détruisent mutuellement. Ainsi, aucun des rayons ordinaires, sortis de la première particule, ne peut éprouver la réfraction extraordinaire dans la seconde. Si l'on retourne celle-ci de manière que le plan de sortie devienne plan d'entrée, il est évident qu'il se trouvera placé du même côté relativement à la section principale, et, par conséquent, les rayons y seront encore réfractés de la même manière.

Il est à remarquer que les calculs que nous venons de faire et le résultat auquel ils nous ont conduit, sont indépendants des rapports d'intensité des doubles réfractions exercées par ces particules, et que nous avons supposé seulement qu'elles étaient constituées de la même façon, c'est-à-dire que leurs axes étaient tournés du même côté par rapport à leur plan d'entrée. Ainsi, quelles que soient d'ailleurs les inclinaisons, ou même la nature des diverses particules traversées successivement par la lumière incidente, les rayons qui auront subi primitivement la réfraction ordinaire ou extraordinaire continueront à subir la même espèce de réfraction dans toute l'étendue du fluide. L'hypothèse que nous avons adoptée peut donc expliquer (ce qui, au premier abord, paraissait difficile à concevoir) comment il se fait que la double réfraction exercée par des particules

aussi irrégulièrement arrangées ne développe que deux systèmes d'ondes lumineuses dans le fluide.

Quand il est homogène, les effets produits par toutes les particules s'ajoutent, et l'intervalle entre les deux systèmes d'ondes doit augmenter en proportion de la longueur du trajet. Quand le fluide est composé de deux espèces différentes de particules, mais dont les axes sont tournés de la même manière, par rapport à leurs plans d'entrée, leurs effets s'ajoutent, si dans les unes et les autres c'est la même réfraction qui est la plus rapide; et ils se retranchent, au contraire, si les réfractions les plus rapides sont de natures opposées. C'est l'inverse lorsque les particules ont leurs axes tournés en sens contraires relativement à leurs plans d'entrée.

On voit aussi que le mélange d'un nombre quelconque de fluides de natures diverses, dont les particules seraient ainsi constituées, doit produire sur la lumière le même effet qu'elle éprouverait si elle traversait successivement ces différents fluides. Ainsi le problème, dans ce cas général, peut toujours être ramené au cas particulier d'un fluide homogène.

Dans le Mémoire précédent, en exposant la théorie de l'appareil que je prends ici pour modèle de la constitution des particules, j'ai démontré que l'intensité et la position des différents systèmes d'ondes qu'il produit, réunis dans un plan de polarisation quelconque, sont indépendantes de l'azimut dans lequel cet appareil est dirigé, et ne dépendent que de l'inclinaison réciproque des deux plans de polarisation extrêmes. On peut donc supposer toutes les particules du fluide tournées de façon que leurs sections principales soient parallèles entre elles: alors, si l'on considère une de ces particules comprises entre deux autres, on voit que son plan d'entrée est perpendiculaire au plan de sortie de celle qui la précède, et fait disparaître ainsi la différence d'un quart d'ondulation produite par celui-ci. De même,

son plan de sortie est perpendiculaire au plan d'entrée de la particule suivante, qui détruit, par conséquent, la modification que celui-là avait imprimée à la lumière. On peut donc supprimer par la pensée tous les plans d'entrée et de sortie intermédiaires, en conservant seulement le plan d'entrée de la première particule et le plan de sortie de la dernière. Il est évident alors que la formule que j'ai calculée pour l'appareil s'applique au fluide. Si donc on représente par o et e les nombres des ondulations ordinaires et extraordinaires dans le fluide, et par i l'angle que le plan primitif de polarisation fait avec la section principale du rhomboïde de spath calcaire, qui sert à développer les couleurs, on aura, pour l'expression générale de l'intensité des vibrations lumineuses dans l'image ordinaire,

$$F.\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\cos[2i-2\pi(e-o)]}, \quad \text{ou} \quad F.\cos[i-\pi(e-o)],$$

F étant l'intensité du faisceau incident; et, pour l'image extraordinaire, $F.\sin[i-\pi(e-o)]$.

Ces formules ont été calculées dans le cas où l'axe de la lame cristallisée, comprise entre les deux parallélipipèdes de verre, était à droite du premier plan de double réflexion; elles s'appliquent en conséquence aux fluides dont les particules ont leur section principale à droite de leur plan d'entrée. Dans le cas inverse, les formules deviennent $F.\cos[i+\pi(e-o)]$ pour l'image ordinaire, et $F.\sin[i+\pi(e-o)]$ pour l'image extraordinaire.

M. Biot a reconnu que l'angle dont il fallait tourner la section principale du rhomboïde de spath calcaire, pour faire disparaître la même espèce de rayons de l'image extraordinaire, était proportionnel au chemin parcouru dans le fluide. Cette loi remarquable est une conséquence immédiate des formules ci-dessus. En effet, l'espèce de rayons que l'on considère sera nulle dans l'image extraordinaire, quand on aura $i\pm\pi(e-o)=0$, ou $i=\pm\pi(e-o)$, les

signes supérieurs répondant au cas où les particules ont leur section principale à droite de leur plan d'entrée, et les signes inférieurs au cas contraire. Or, e et o sont proportionnels au chemin parcouru dans le fluide; par conséquent, l'angle i doit aussi lui être proportionnel.

Si l'on suppose $e > o$, la première valeur de i sera positive et la seconde négative. Les angles ayant été comptés de gauche à droite dans les calculs, on doit conclure de ces valeurs de i que, dans le premier cas, la lumière tournera de gauche à droite, et, dans le second, de droite à gauche, selon l'expression de M. Biot, qui est le plus simple énoncé des apparences du phénomène. Si l'on suppose, au contraire, $e < o$, la lumière tournera de gauche à droite, lorsque la section principale des particules sera à gauche de leur plan d'entrée; et de droite à gauche lorsque ce plan sera à gauche de la section principale.

Il est clair, d'après cela, que, lorsque la lumière polarisée traverse successivement deux fluides qui font tourner la lumière en sens contraires, les effets produits par l'un sur chaque espèce de rayons se retranchent des effets produits par l'autre; en sorte que, dans une lumière homogène, on fera toujours disparaître complétement l'image extraordinaire, en raccourcissant ou rallongeant convenablement un des tubes. Mais il pourrait se faire que, dans la lumière blanche, cette compensation fût impossible, si, par exemple, les variations de la double réfraction des rayons divers ne suivaient pas la même loi dans les deux fluides, parce qu'alors les rapports de longueurs, qui produiraient la compensation exacte pour une espèce de rayons, ne la produiraient pas pour une autre.

Pour compléter la théorie que je viens d'exposer, il me reste à expliquer deux phénomènes décrits au commencement de ce Mémoire. Lorsque la lumière polarisée a reçu, dans un azimut de 45 degrés, la modification que lui imprime la double réflexion complète avant de traverser l'huile

de térébenthine, elle n'y développe plus de couleurs; et quand elle n'éprouve cette modification qu'après être sortie du tube, les teintes des deux images demeurent constantes pendant la rotation du rhomboïde de spath calcaire avec lequel on les observe, et ne varient que d'intensité seulement, en allant jusqu'au blanc parfait, comme celles des lames cristallisées parallèles à l'axe.

La raison du premier phénomène est bien simple : la lumière n'éprouve plus alors dans le liquide qu'une seule espèce de réfraction. En effet, nous avons vu que les rayons polarisés parallèlement ou perpendiculairement à la section principale d'une particule, après avoir éprouvé, en en sortant, la modification dont il s'agit, ne pouvaient plus subir qu'une seule espèce de réfraction dans la particule suivante. La lumière polarisée, ainsi modifiée, ne peut donc être réfractée que d'une seule manière dans l'essence de térébenthine, et ne doit produire, en conséquence, qu'un seul système d'ondes.

Je vais m'occuper maintenant du cas où la lumière ne reçoit cette modification qu'à sa sortie du tube. Soit PP', *Pl. II, fig.* 2, le plan primitif de polarisation. Nous avons vu que l'action des particules sur les vibrations lumineuses était toujours la même, dans quelque azimut que leurs axes fussent tournés. Nous pouvons, en conséquence, supposer toutes les sections principales inclinées de 45 degrés sur le plan de la polarisation primitive, de façon que leurs plans d'entrée ou de sortie coïncident avec ce plan. Je supposerai, par exemple, que ce sont les plans d'entrée. Ayant ainsi tourné toutes les sections principales dans la même direction, on peut supprimer tous les plans d'entrée et de sortie, excepté le premier et le dernier. Le premier coïncide avec PP', par hypothèse, et le dernier, représenté dans la figure par NN', lui est perpendiculaire. Soit RR' le plan suivant lequel la lumière est réfléchie deux fois dans le parallélipipède de verre, après avoir traversé l'essence de térébenthine;

soit enfin SS′ la section principale du rhomboïde de spath calcaire avec lequel on développe les couleurs. Je représente l'angle PCR par r, et l'angle PCS par i.

Le plan d'entrée, coïncidant avec celui de la polarisation primitive, ne modifie pas la lumière. Par la double réfraction des particules, elle se trouve divisée en deux systèmes d'ondes, polarisés, l'un suivant la section principale OO′, l'autre suivant le plan perpendiculaire EE′. Si l'on représente par F la vitesse des molécules éthérées dans les vibrations du faisceau incident, leurs vitesses, dans les ondes ordinaires et extraordinaires, seront

$$\sqrt{\frac{1}{2}}.F_o \qquad \text{et} \qquad \sqrt{\frac{1}{2}}.F_e.$$

P.O.   P.E′.

o et e représentent toujours les nombres d'ondulations ordinaires et extraordinaires, exécutées dans l'essence de térébenthine par l'espèce de rayons que l'on considère. Par l'action du plan de sortie NN′, chacun de ces faisceaux se divisera en deux autres; ce qui donnera en tout les quatre faisceaux suivants :

$$\frac{1}{2}F_{o+\frac{1}{4}}, \quad \frac{1}{2}F_o, \quad \frac{1}{2}F_{e+\frac{1}{4}}, \quad \frac{1}{2}F_e.$$

P.O.N.   P.O.P.   P.E′.N′.   P.E′.P.

La double réflexion dans le parallélipipède de verre divise ensuite chacun de ces quatre faisceaux en deux autres, polarisés, l'un suivant le plan de réflexion RR′, l'autre suivant le plan perpendiculaire TT′. Enfin, par l'action du rhomboïde de spath calcaire, chacun de ces huit faisceaux se trouve divisé en deux autres, polarisés parallèlement et perpendiculairement à sa section principale SS′. Il suffit de considérer ceux qui concourent à la formation d'une des images, l'image ordinaire par exemple. Leurs intensités sont représentées par les expressions suivantes :

P.O.N.R.S. $+\frac{1}{2}\sin r.\cos(i-r).F_{o+\frac{1}{4}}$,

P.O.N.T.S. $+\frac{1}{2}\cos r.\sin(i-r).F_{o+\frac{1}{4}}$,

P.O.P.R.S. $+\frac{1}{2}\cos r.\cos(i-r).F_{o+\frac{1}{4}}$,

P.O.P.T′.S′. $-\frac{1}{2}\sin r.\sin(i-r).F_{o}$,

P.E′.N′.R′.S′. $-\frac{1}{2}\sin r.\cos(i-r).F_{e+\frac{1}{2}}$,

P.E′.N′.T′.S′. $-\frac{1}{2}\cos r.\sin(i-r).F_{e+\frac{1}{4}}$,

P.E′.P.R.S. $+\frac{1}{2}\cos r.\cos(i-r).F_{e+\frac{1}{4}}$,

P.E′.P.T′.S′. $-\frac{1}{2}\sin r.\sin(i-r).F_{e}$.

Ajoutant les expressions qui ont la même caractéristique, et observant que $\frac{1}{2}$ à la caractéristique équivaut au signe moins, ces huit faisceaux se réduisent à quatre :

$$-\frac{1}{2}\sin r[\cos(i-r)+\sin(i-r)]F_{o},$$

$$+\frac{1}{2}\cos r[\cos(i-r)+\sin(i-r)]F_{o+\frac{1}{4}},$$

$$+\frac{1}{2}\sin r[\cos(i-r)-\sin(i-r)]F_{e},$$

$$+\frac{1}{2}\cos r[\cos(i-r)-\sin(i-r)]F_{e+\frac{1}{4}}.$$

A l'inspection de ces formules, on voit d'abord que l'image passe au blanc lorsque $i-r=45$ degrés, parce qu'alors les deux derniers faisceaux s'évanouissant, l'intensité de la lumière devient indépendante de la différence entre e et o, et par conséquent est la même pour toute espèce de rayons. La couleur de l'image atteint, au contraire, son plus haut degré de vivacité, lorsque $i-r$ est égal à zéro ou à 90 degrés, c'est-à-dire lorsque la section principale du rhomboïde

de spath calcaire est parallèle ou perpendiculaire au plan de la double réflexion ; en effet, les expressions dont la caractéristique est fonction de e deviennent alors égales à celles dont la caractéristique contient o.

Il est aisé de voir aussi que la rotation du rhomboïde, c'est-à-dire les variations de i, ne doivent pas altérer la nature de la teinte. En effet, considérons la résultante des deux premiers systèmes d'ondes : les variations de i n'affectant que le facteur commun $\cos(i-r)+\sin(i-r)$, ne peuvent pas changer la position de cette onde, mais seulement son intensité. Par la même raison, ces variations ne changent pas non plus la position de l'onde résultant du concours des deux autres faisceaux. Ainsi l'intervalle entre ces deux résultantes, qui seule détermine la nature de la teinte, n'éprouve aucun changement pendant la rotation du rhomboïde.

Il n'en est pas de même des variations de r ; comme elles affectent inégalement les deux premiers faisceaux, dont l'un est multiplié par $\sin r$, et l'autre par $\cos r$, elles font varier la position de leur résultante. Elles changent aussi la position de l'autre résultante, et en sens contraire, à cause de l'opposition de signe entre le premier et le troisième faisceau. Mais ceci devient plus évident encore en calculant la résultante totale de ces quatre systèmes d'ondes. On trouve, pour l'expression générale de l'intensité de ses vibrations,

$$F\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}[\cos^2(i-r)-\sin^2(i-r)]\cos[2r-2\pi(e-o)]},$$

ou

$$F\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\cos 2(i-r)\cos[2r-2\pi(e-o)]}.$$

Il est clair, d'après cette formule, que les variations de i n'affectent que l'intensité de la teinte (1), tandis que celles

(1) Le maximum d'intensité de la teinte répond à $i=r$, comme on l'avait déjà reconnu par la seule inspection des faisceaux constituants. La

de r changent sa nature. Quand r est égal à 45 degrés, par exemple, $\cos[2r - 2\pi(e - o)]$ devient $\cos 2\pi\left[\frac{1}{4} - (e - o)\right]$, et la couleur de l'image est celle qui répond à un changement d'un quart d'ondulation dans l'intervalle $e - o$ compris entre les deux systèmes d'ondes. Quand r est égal à zéro, au contraire, la teinte répond exactement à l'intervalle $e - o$; c'est celle qu'on pourrait appeler la teinte fondamentale. La formule devient alors

$$F\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\cos 2i . \cos 2\pi(e - o)};$$

c'est précisément l'expression générale de l'intensité des rayons lumineux dans l'image ordinaire, pour le cas particulier d'une lame cristallisée dont l'axe est placé dans un azimut de 45 degrés, par rapport au plan primitif de polarisation. Si la double réfraction exercée par l'essence de térébenthine sur les différentes espèces de rayons était sensiblement constante, comme dans les cristaux, il en résulterait qu'on pourrait toujours compenser exactement l'effet qu'elle produit sur la lumière blanche polarisée avec une lame cristallisée d'une épaisseur convenable, en tournant le parallélipipède de façon que le plan de double réflexion fût parallèle au plan primitif de polarisation. Mais nous avons vu qu'il n'en était pas ainsi, et qu'il résultait de la marche de la teinte fondamentale que la double réfraction de l'essence de térébenthine variait beaucoup, au contraire, avec la longueur des vibrations lumineuses. On conçoit même que la loi de ces variations pourrait être telle, que toute

---

formule devient alors

$$F\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\cos[2r - 2\pi(e - o)]} \quad \text{ou} \quad F.\cos[r - \pi(e - o)].$$

Ainsi la teinte est précisément celle qu'on observait avant l'interposition du parallélipipède de verre, dans la même position du rhomboïde de spath calcaire.

compensation exacte devînt impossible dans la lumière blanche.

Pour concevoir nettement les conditions nécessaires de cette compensation, au lieu de rapporter à une même unité de longueur les intervalles compris entre les deux systèmes d'ondes dans l'essence de térébenthine et dans la lame cristallisée, supposons-les exprimés, pour chaque espèce d'ondulation lumineuse, en fonction de la longueur de cette ondulation. Il est clair que, si les différences entre les nombres qui expriment ces rapports pour le tube rempli d'essence de térébenthine sont égales aux différences entre les nombres correspondants de la lame cristallisée, la compensation exacte est possible; car il résulte de cette hypothèse que les nombres de la lame cristallisée sont égaux aux nombres du tube, plus un même nombre, en général fractionnaire. Or, on peut en supprimer toutes les unités entières, et ne considérer que la fraction restante, seule quantité qui s'oppose à la compensation exacte. Mais, d'après la formule

$$F.\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\cos 2(i-r)\cos[2r-2\pi(e-o)]},$$

on voit qu'il est toujours possible, par la valeur que l'on donne à r, d'introduire la fraction que l'on veut dans la parenthèse $2r-2\pi(e-o)$, et de faire disparaître cette dernière discordance. C'est donc cette dernière fraction qui détermine l'azimut dans lequel il faut tourner le plan de double réflexion pour obtenir la disparition complète d'une des images.

D'après quelques expériences de ce genre, auxquelles je n'ai pas encore pu donner toute la précision dont elles sont susceptibles, il m'a semblé que la condition que je viens d'énoncer était sensiblement satisfaite dans l'essence de térébenthine; car j'ai observé des disparitions complètes d'une des images, du moins autant que j'en ai pu juger.

La première expérience que j'aie faite est celle dont j'ai

déjà parlé au commencement de ce Mémoire. Ayant rempli d'huile de térébenthine un tube de $0^{m},50$ de longueur, j'ai fixé à son extrémité postérieure un parallélipipède de verre dans lequel les rayons émergents éprouvaient la double réflexion complète suivant un plan parallèle à celui de la polarisation primitive : alors, en plaçant entre ce parallélipipède et le rhomboïde de spath calcaire une lame de sulfate de chaux de $0^{m},12$ environ d'épaisseur, et en inclinant son axe à droite de 45 degrés par rapport au plan de double réflexion, je faisais disparaître l'image extraordinaire qui était d'un rouge violâtre ou pourpre du troisième ordre. Une lame de sulfate de chaux de $0^{mm},12$ d'épaisseur ne répond pas tout à fait à cette teinte dans la table de Newton ; mais, comme il fallait incliner un peu cette lame perpendiculairement à son axe pour obtenir la disparition complète, j'ai estimé que le tube de $0^{m},50$ devait être compensé par une lame de sulfate de chaux répondant au nombre 21 dans la première colonne de la table de Newton. Si l'on calcule la rotation du plan de polarisation des rayons rouges moyens produite par une pareille lame comprise entre deux parallélipipèdes perpendiculaires entre eux, on trouve, par la formule

$$i = -\pi(e - o),$$

pour l'arc total, $309^{\circ},6$. Mais, d'après la marche des couleurs que présente l'essence de térébenthine depuis zéro jusqu'à une longueur de $0^{m},50$, on a vu qu'il devait y avoir pour ce fluide une ondulation de moins dans l'intervalle entre les deux systèmes d'ondes. Or, une ondulation répond ici à 180 degrés; retranchant 180 degrés de $309^{\circ},6$, il reste $129^{\circ},6$, qui, divisés par 50, donnent $2^{\circ},59$ pour la rotation des rayons rouges dans 1 centimètre. En faisant le même calcul sur les autres espèces de rayons, on trouve, pour les diverses rotations qu'ils éprouvent en traversant 1 centimètre d'essence de térébenthine, savoir :

Rayons orangés.......	2°,99
Rayons jaunes........	3,36
Rayons verts.........	3,90
Rayons bleus.........	4,48
Rayons indigos........	4,96
Rayons violets........	5,49

Ayant fixé une lame de sulfate de chaux de $0^{mm},46$ d'épaisseur sur un parallélipipède de verre, je l'ai placée à l'extrémité d'un appareil rempli d'essence de térébenthine, dont je pouvais faire varier la longueur. Par un double tâtonnement, j'ai cherché quelle était celle qui produisait la compensation la plus exacte, et dans quel azimut il fallait placer le plan de double réflexion du parallélipipède pour faire disparaître complétement une des images. J'ai trouvé pour cette longueur $2^{m},03$; et, pour l'azimut, 35 degrés environ à gauche du plan de polarisation; c'était l'image ordinaire qui disparaissait. Il en résulte que, pour avoir la rotation produite par ce tube, il faut d'abord retrancher $90° - 35$ degrés, ou 55 degrés, de la rotation qui serait produite par la lame de $0^{mm},46$, et qui est de $1145°,8$ pour les rayons rouges moyens. Il faut, en outre, en soustraire un nombre entier de demi-circonférences, dépendant aussi de la différence de marche des teintes produites par la lame et par l'essence de térébenthine. Mon appareil ne me permettant pas de les suivre depuis $0^{m},50$ jusqu'à $2^{m},03$, j'ai calculé ce nombre d'après l'expérience précédente, certain de ne pas me tromper d'une demi-circonférence; et j'ai vu ainsi qu'il fallait retrancher trois demi-circonférences ou 540 degrés. La rotation des rayons rouges, produite par un trajet de $2^{m},03$ dans l'essence de térébenthine, est donc de $550°,8$; divisant cette quantité par 203, on a, pour la rotation des rayons rouges dans 1 centimètre, $2°,71$ (1). Ce

(1) En partant de ces données, on trouve que les rayons rouges ordinaires et extraordinaires ne diffèrent dans leur vitesse que de $\frac{1}{1\,573\,000}$; et les

résultat s'accorde fort bien avec celui que M. Biot a obtenu par la mesure même des angles, si du moins ce sont des rayons rouges *moyens* qui dominaient dans la lumière dont il s'est servi.

En faisant le même calcul relativement aux autres rayons, on trouve les angles suivants :

Rayons orangés.......	3°,07
Rayons jaunes........	3,42
Rayons verts.........	3,91
Rayons bleus.........	4,44
Rayons indigos.......	4,87
Rayons violets.......	5,35

Ces résultats diffèrent sensiblement de ceux déduits de l'expérience précédente, et les bases du calcul sont, en effet, assez différentes; car si, par une proportion, en partant des données de la seconde observation, on cherche quelle longueur d'essence de térébenthine doit être exactement compensée par une lame de sulfate de chaux répondant au nombre 21 de la première colonne de la table de Newton, on trouve $0^m,548$ au lieu de $0^m,50$.

Malgré les difficultés qui résultaient de la plus grande longueur de l'appareil dans la seconde expérience, et qui pouvaient être des causes d'erreur, je suis porté à croire que les résultats qui en découlent sont plus exacts que les premiers, non-seulement parce que les mesures et les observations ont été faites sur des quantités plus grandes, mais encore parce que j'avais réfléchi davantage aux précautions à prendre pour approcher de l'exactitude. Néanmoins je ne regarde pas non plus ces derniers résultats comme fort exacts, parce que l'appareil n'était pas disposé d'une ma-

---

rayons violets ordinaires et extraordinaires de $\frac{1}{1\,170\,000}$; en sorte que la double réfraction des rayons rouges est à la double réfraction des rayons violets comme 1 est à 1,34.

nière assez commode pour faire avec précision des observations aussi délicates (1). Avant d'avoir l'honneur de les présenter à l'Académie, j'aurais désiré répéter l'expérience avec un appareil mieux disposé, et vérifier ces angles par des mesures directes de la rotation dans la lumière homogène; mais d'autres recherches m'obligent d'abandonner celles-ci, du moins pour quelque temps.

J'ai fait voir comment on pouvait distinguer les différents phénomènes que présente l'essence de térébenthine, en supposant que chacune de ses particules jouit de la double réfraction, et fait éprouver aux rayons lumineux, à leur entrée et à leur sortie, la même modification que leur imprime la double réflexion complète dans l'intérieur des corps transparents. La définition de ces modifications dans l'état actuel de la théorie est assez compliquée. Il est possible cependant qu'au fond l'hypothèse soit plus simple qu'elle ne le paraît. Il est certain du moins que les phénomènes ne peuvent pas être présentés plus simplement que par la formule générale

$$F.\cos[i \pm \pi(e - o)],$$

à laquelle cette hypothèse m'a conduit. Il me paraît très-probable, en conséquence, que cette formule est effectivement l'expression de la résultante de tous les mouvements divers des ondes lumineuses dans l'essence de térébenthine. Mais il est possible que ces mouvements élémentaires ne s'exécutent pas précisément comme je l'ai supposé. Quoi qu'il en soit, la théorie que je viens d'exposer a l'avantage de rattacher la coloration des fluides homogènes dans la lu-

(1) Il m'a semblé que les teintes produites par les $2^m,03$ d'essence de térébenthine étaient un peu moins faibles que celles de la lame de $0^m,46$. En traversant $2^m,60$ de cette huile essentielle, la lumière polarisée présentait encore une coloration appréciable; ce qui paraîtrait établir une petite différence entre les phénomènes et l'hypothèse d'une compensation parfaite par l'interposition d'une lame de sulfate de chaux.

mière polarisée aux mêmes principes que celle des lames cristallisées; elle indique les points de contact de ces phénomènes, dont les apparences sont si différentes; et sous ce rapport elle peut être, ce me semble, de quelque utilité pour la science.

MÉMOIRE SUR LE MAGNÉTISME TERRESTRE;

PAR M. G. AIMÉ.

Relations entre les variations de déclinaison et celles d'inclinaison magnétique.

Si l'on conçoit une aiguille aimantée réduite à une ligne mathématique et suspendue par son milieu de manière à pouvoir tourner en toute liberté autour de ce point supposé fixe, il est clair que les deux extrémités de l'aiguille décriront des courbes, quand la force magnétique terrestre variera en direction. La projection de l'une de ces courbes sur un plan horizontal représentera la marche de la variation de la déclinaison. La projection sur un plan vertical mobile et coupant toujours le plan horizontal, suivant la projection horizontale de l'aiguille, représentera l'inclinaison; par conséquent, l'ensemble des positions de l'extrémité de l'aiguille sur le plan vertical formera un arc de cercle. Les extrémités inférieures et supérieures correspondront généralement aux positions où l'aiguille décrit un élément de courbe dont la tangente est horizontale.

Il est facile de comprendre, d'après ces considérations, que si le mouvement de l'aiguille, suspendue par son centre de gravité, est à peu près uniforme, si elle décrit des arcs égaux en des temps égaux, les maxima de vitesse de projection sur le plan horizontal correspondront à des limites d'excursion de l'inclinaison; réciproquement, quand la vi-

tesse de projection sur le plan vertical sera maximum, celle observée sur le plan horizontal sera nulle.

Admettons que ces considérations soient exactes, et cherchons à déduire des mouvements de variations de déclinaison les heures des limites d'excursion de l'inclinaison, et réciproquement.

Les observations diurnes sur l'inclinaison n'ayant pas été effectuées à Alger, nous aurons recours à celles publiées par M. le colonel Sabine, et qui ont été faites à Toronto dans le Canada.

Variations diurnes moyennes de l'inclinaison.

6 heures...........	0',45	minimum d'inclinaison.
8 —	0,74	
10 —	1,21	maximum.
Midi.................	1,08	
2 heures...........	0,40	
4 —	0,00	minimum.
6 —	0,22	
8 —	0,48	
10 —	0,56	
Minuit.............	0,56	maximum.
2 heures...........	0,52	
4 —	0,48	

Ces nombres montrent une marche diurne de l'inclinaison croissant depuis le plus petit minimum, à quatre heures du soir, jusqu'à dix heures ou douze heures du soir, décroissant jusqu'à six heures du matin, et croissant de nouveau jusqu'à dix heures, époque du principal maximum; à partir de cette heure, l'inclinaison diminue constamment jusqu'à son principal minimum qui arrive à quatre heures.

Nous allons maintenant présenter les variations diurnes de la déclinaison, obtenues aux mêmes époques, dans le même lieu.

Variations diurnes moyennes de déclinaison.

6 heures	7′,8	
8 —	8,6	maximum à l'est.
10 —	5,6	
Midi	0,7	
2 heures	0,0	maximum à l'ouest.
4 —	1,8	
6 —	4,3	
8 —	6,2	
10 —	6,7	maximum à l'est.
Minuit	6,4	
2 heures	6,0	maximum à l'ouest.
4 —	6,2	

Ces nombres indiquent deux maxima à l'ouest, le principal à deux heures du soir, et l'autre à deux heures du matin; et deux maxima à l'est, le principal à huit heures du matin, et le second à dix heures du soir.

Si nous appelons vitesse de variation de déclinaison ou d'inclinaison l'arc parcouru par l'une ou l'autre aiguille en deux heures, nous pourrons former le tableau suivant :

HEURES.	VITESSES DE VARIATIONS	
	de la déclinaison.	de l'inclinaison.
6 heures du matin	0′8	0′29
8 *Id.*	2,8	0,47 +
10 *Id.*	5,1 +	0,13
Midi	0,7	0,68 +
2 heures du soir	1,8	0,40
4 *Id.*	2,5 +	0,22
6 *Id.*	1,9	0,26 +
8 *Id.*	0,5	0,08
10 *Id.*	0,3	0,00
Minuit	0,4 +	0,04 +
2 heures du soir	0,2	0,04 +
4 *Id.*	1,6 +	0,03

Des tableaux précédents nous formons celui qui suit :

HEURES		HEURES	
des limites de déclinaison.	des vitesses maxima d'inclinaison.	des vitesses maxima de déclinaison.	des limites de l'inclinaison.
8h du matin.	9h du matin.	5h du matin.	6h du matin.
2 du soir.	1 du soir.	11 du matin.	10 du matin.
10 du soir.	7 du soir.	5 du soir.	4 du soir.
2 du matin.	2 du matin.	1 du matin.	Minuit.

Nous n'avons présenté la loi précédente que comme devant donner à peu près les phénomènes, car il n'est pas probable que la vitesse de rotation de l'aiguille aimantée, réduite à son axe, soit uniforme comme nous l'avions supposé. Néanmoins nous ne craignons pas de nous en servir pour fixer les heures des limites d'excursion d'inclinaison à Alger.

Variations diurnes moyennes de déclinaison.

Minuit.............	5',5	..... 0',1
1 heure	5,4	 0,1
2 —	5,5	 0,2
3 —	5,3	 0,1
4 —	5,2	 0,5
5 —	5,7	 0,2
6 —	5,9	 0,2
7 —	6,1	 0,5
8 —	6,6	 0,0
9 —	6,6	 1,4
10 —	5,2	 2,7
11 —	2,5	 1,9
Midi................	0,6	 0,5
1 heure............	0,1	 0,4
2 —	0,5	 1,0
3 —	1,5	 1,1
4 —	2,6	 0,9
5 —	3,5	 1,2
6 —	4,7	 0,2
7 —	4,9	 0,5
8 —	5,4	 0,3
9 —	5,7	 0,2
10 —	5,9	 0,6
11 —	5,3	 0,2

HEURES des limites de déclinaison ou des vitesses maxima d'inclinaison.	HEURES des vitesses maxima de déclinaison ou des limites de l'inclinaison.
h m	h m
8.30 du matin.	6. 0 du matin.
1. 0 du soir.	10.30 du matin.
10. 0 du soir.	3.30 du soir.
4. 0 du matin.	10.30 du soir.

Si l'on applique les considérations précédentes aux variations annuelles de la déclinaison et de l'inclinaison, elles pourront également faire soupçonner certains rapports entre ces deux mouvements. On devra généralement remarquer que les variations de déclinaison sont d'autant plus faibles que celles de l'inclinaison sont plus fortes. C'est par conséquent vers les limites d'excursion d'une aiguille que se présentera le maximum de vitesse de variation pour l'aiguille.

Il n'y a encore qu'un petit nombre d'années que l'on étudie d'une manière exacte les mouvements de l'aiguille d'inclinaison; ainsi il n'est pas facile de se procurer de nombreux faits à l'appui de la considération qui précède. Je vais en présenter quelques-uns.

En France et probablement en Algérie, la limite du déplacement occidental du pôle de l'aiguille de déclinaison qui regarde le nord est arrivée vers 1820. L'aiguille a maintenant un mouvement rétrograde, et sa course moyenne annuelle est d'environ deux minutes et quelques secondes. La variation de l'inclinaison est au contraire, depuis quelques années en Algérie, d'environ six minutes et quelques secondes, c'est-à-dire trois fois plus grande que celle de la déclinaison.

Dans l'Amérique du Nord, la variation annuelle de la déclinaison est, aujourd'hui, d'environ 6 minutes, tandis que celle de l'inclinaison est de 2 minutes. L'effet est par conséquent exactement inverse du premier.

Variations moyennes annuelles à Paris.

INCLINAISON.				DÉCLINAISON.			
Valeurs absolues		Années.	Variat. moyenne annuelle	Années.	Variat. moy. annuelle	Valeurs absolues.	
° ′	° ′		′		′	° ′	° ′
75.00	72.15	1671 à 1754	1.7	1663 à 1767	11.0	0.00	19.16
72.15	71.48	1754 à 1780	1.0	1767 à 1785	9.0	19.16	22.00
71.48	69.12	1780 à 1806	6.0	1785 à 1805	0.2	22.00	22.05
69.12	68.38	1806 à 1817	3.0	1805 à 1817	1.1	22.05	22.19
68.38	67.41	1817 à 1829	5.0	1817 à 1825	0.3	22.19	22.22

On peut conclure de ce tableau que généralement la vitesse angulaire horizontale ou de déclinaison a été en diminuant depuis 1670 jusque vers 1825, tandis que la vitesse angulaire verticale ou d'inclinaison a suivi une progression inverse.

Il est probable que, pour les mouvements séculaires comme pour les mouvements diurnes, les limites de vitesse de déclinaison arrivent vers les époqnes où ont lieu les limites d'excursion de l'inclinaison, et réciproquement.

Comparaison entre les variations diurnes de la déclinaison observées à Alger, au cap de Bonne-Espérance et à l'île Sainte-Hélène.

Le cap de Bonne-Espérance se trouve à l'extrémité sud de l'Afrique; Alger, au contraire, est situé à la partie la plus septentrionale de cette partie du monde. La latitude d'Alger est d'environ 36 degrés, et celle du Cap de 34 degrés. La distance de ces deux localités à l'équateur est donc sensiblement la même. Par ce motif, il y avait lieu de croire que les variations diurnes de la déclinaison devaient présenter des analogies remarquables. Il n'en est cependant rien, puisque les amplitudes des écarts angulaires de l'ai-

guille sont généralement beaucoup plus considérables à Alger qu'à la pointe méridionale de l'Afrique. En général, l'excursion dans la partie nord est deux fois plus grande que dans le sud. Nous présenterons plus loin les nombres sur lesquels nous avons établi cette relation.

Les variations de déclinaison aux deux extrémités de l'Afrique se distinguent entre elles non pas seulement par leur grandeur, mais aussi par la symétrie des mouvements par rapport à l'équateur. Dans un article de l'*Annuaire* de 1845, M. Arago avait parfaitement établi ce fait.

VARIATIONS HORAIRES DE LA DÉCLINAISON.

Cap de Bonne-Espérance.

1 division de l'échelle = 0′ 75. (Les nombres croissent quand le pôle qui regarde le nord va à l'est.)

TEMPS DU CAP.		JANVIER.	FÉVRIER.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	JUILLET.	AOUT.	SEPTEMBRE.	OCTOBRE.	NOVEMBRE.	DÉCEMBRE.
	h m												
Midi...	0.34.	″	″	″	51,1	50,1	″	51,0	50,3	50,4	54,1	53,9	45,0
	1.34.	″	″	″	″	″	″	″	″	″	55,3	55,0	46,6
	2.34.	″	″	″	52,7	51,5	″	52,7	52,3	53,3	55,6	55,4	46,5
	3.34.	″	″	″	″	″	″	″	″	″	54,6	54,6	46,5
	4.34.	″	″	″	51,8	51,5	″	52,4	52,6	52,1	53,6	53,5	45,0
	5.34.	″	″	″	″	″	″	″	″	″	52,7	52,8	45,0
	6.34.	″	″	″	50,9	49,9	″	51,6	51,8	51,8	52,3	52,8	44,4
	7.34.	″	″	″	″	″	″	″	″	″	52,5	53,0	44,8
	8.34.	″	″	″	51,1	49,7	″	51,9	51,8	51,7	52,2	52,8	44,7
	9.34.	″	″	″	″	″	″	″	″	″	52.8	53,1	44,6
	0 34.	″	″	″	50,7	49,9	″	52,1	51,8	52,0	52,9	52,7	44,7
	11.34.	″	″	″	″	″	″	″	″	″	52,7	53,1	44,8
Minuit.	12.34.	″	″	″	51,2	51,0	″	52,7	51,6	52,5	53,2	52,9	45,6
	13.34.	″	″	″	″	″	″	″	″	″	53,2	53,1	44,7
	14.34.	″	″	″	51,6	51,9	″	53,0	52,8	52,7	53,2	52,5	44,1
	15.34.	″	″	″	″	″	″	″	″	″	52,4	51,8	43,6
	16.34.	″	″	″	52,2	52,2	″	53,7	53,3	53,1	52,2	51,3	43,1
	17.34.	″	″	″	″	″	″	″	″	″	51,7	50,5	42,3
	18.34.	″	″	″	51,6	51,9	″	53,9	54,6	54,3	51,1	48,9	41,1
	19.34.	″	″	″	″	″	″	″	″	″	49,7	47,5	40,1
	20.34.	″	″	″	47,4	50,7	″	53,6	54,1	51,2	48,8	47,1	39,7
	21.34.	″	″	″	″	″	″	″	″	″	48,5	47,6	40,0
	22.34.	″	″	″	47,4	47,2	″	50,0	49,7	48,8	49,7	49,7	41,8
	23.34.	″	″	″	″	″	″	″	″	″	52,0	51,8	43,6

Ce tableau nous montre que c'est bien entre 1 et 2 heures de l'après midi que la pointe nord de l'aiguille de déclinaison arrive à son maximum d'excursion à l'est, et que le maximum d'excursion à l'ouest arrive entre 8 et 9 heures du matin.

Si l'on prend les différences entre le maximum et le minimum, pour chaque mois, et qu'on les multiplie par 0'75, valeur angulaire d'une division, on trouve, pour les écarts angulaires, les résultats suivants :

	JANVIER.	FÉVRIER.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	JUILLET.	AOUT.	SEPTEMBRE.	OCTOBRE.	NOVEMBRE.	DÉCEMBRE.
Le Cap.	"	"	"	3',9	3',7	"	2',9	3',7	4',0	5',3	6',2	5',1
	JUILLET.	AOUT.	SEPTEMBRE.	OCTOBRE.	NOVEMBRE.	DÉCEMBRE.	JANVIER.	FÉVRIER.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.
Alger..	8',0	9',8	8',5	7',2	3',7	3',7	4',1	5',5	9',1	9',4	7',2	9',8

La comparaison des valeurs obtenues par les observations faites au Cap avec celles faites à Alger, que nous avons placées immédiatement au-dessous, établit que les dernières sont toutes supérieures aux premières, et d'une valeur généralement double.

Nous avons fait correspondre le mois de janvier d'Alger au mois de juillet du Cap, afin de mettre en regard des observations faites dans de semblables conditions, par rapport au soleil, dans les deux stations.

Il y a encore une autre remarque à noter relativement aux époques des valeurs maxima et minima dans les deux séries. A Alger c'est en hiver, c'est-à-dire quand le soleil a la moindre élévation au-dessus de l'horizon, que les variations sont les plus faibles. Au cap de Bonne-Espérance, c'est exactement de même.

Nous avons vu que les mouvements des aiguilles à Alger et au Cap sont à peu près inverses; il est curieux de connaître maintenant ce que deviennent ces mouvements à mesure que l'on se rapproche de l'équateur. A priori, il semblait naturel de penser que les écarts devaient diminuer notablement, et que l'on devrait rencontrer une latitude où ces écarts sont nuls. Il paraît au contraire, d'après les observations faites à Sainte-Hélène, qu'il n'en est rien.

Quand le soleil est dans l'hémisphère nord, pendant les mois d'octobre, novembre, décembre, janvier, février et mars, le plus grand écart vers l'ouest arrive à 6 ou 7 heures du matin, et la plus grande variation à l'est vers midi. Quand le soleil passe dans l'hémisphère sud, dans les mois d'avril, mai, juin, juillet, août et septembre, le plus grand écart vers l'est arrive à 6 ou 7 heures du matin, et celui à l'ouest vers 10 ou 11 heures du matin.

VARIATIONS HORAIRES DE LA DÉCLINAISON.

Sainte-Hélène.

1 division de l'échelle = 0',71. (Les nombres croissent quand le pôle qui regarde le nord va à l'est.)

HEURES de Sainte-Hélène.	JANVIER.	FÉVRIER.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	JUILLET.	AOUT.	SEPT.	OCTOBRE	NOVEMB.	DÉCEMB.	MOYENNES annuelles.
h m													
22.57	55,4	42,4	38,3	30,5	27,5	″	25,0	24,4	23,0	22,3	22,5	19,6	30,0
23.57	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″
Midi... 0.57	55,1	41,6	40,2	29,8	27,7	″	25,4	24,7	23,9	23,9	23,6	20,0	30,5
1.57	54,0	40,0	39,1	28,9	27,7	″	25,7	25,2	23,5	22,9	23,4	19,3	29,8
2.57	53,3	38,8	37,6	29,0	28,0	″	25,5	25,8	23,2	21,2	22,0	18,4	29,3
3.57	53,6	38,6	36,9	29,0	27,7	″	24,9	25,7	23,1	20,3	21,0	18,0	″
4.57	53,4	38,8	37,2	28,7	27,3	″	24,2	25,4	23,3	20,5	20,7	18,5	28,9
5.57	54,5	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″
6.57	54,5	39,7	39,0	29,2	27,8	″	24,7	25,6	24,1	21,6	21,8	19,8	29,8
7.57	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″
8.57	55,2	40,7	39,0	29,6	28,2	″	25,3	26,0	24,0	22,3	22,4	20,6	″
9.57	55,4	41,0	39,3	29,7	28,2	″	25,6	25,9	24,2	22,5	22,6	20,5	″
10.57	55,2	41,0	39,4	29,8	28,6	″	25,7	26,3	24,2	22,5	22,4	20,6	30,5
11.57	54,8	40,6	39,1	30,1	28,8	″	25,8	26,2	24,3	22,2	22,4	19,9	″
Minuit. 12.57	54,4	40,7	38,9	29,8	29,3	″	26,1	26,1	24,2	21,7	22,2	19,7	30,2
13.57	54,3	40,5	38,9	30,1	29,3	″	26,1	26,0	24,2	21,7	21,9	19,6	″
14.57	54,1	40,1	39,0	30,4	29,5	″	26,4	26,4	24,3	21,6	21,6	19,1	″
15.57	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″
16.57	53,4	39,5	39,1	30,7	30,2	″	26,7	27,1	24,8	21,6	21,0	18,9	30,2
17.57	52,0	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″
18.57	51,4	36,6	38,3	31,0	31,3	″	29,3	30,3	25,7	20,1	18,5	17,2	29,9
19.57	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″	″
20.57	52,2	38,7	35,3	27,8	27,8	″	25,9	26,3	23,4	19,7	19,1	16,8	28,4
21.57	53,9	40,1	36,5	28,8	27,3	″	24,6	25,3	23,0	21,4	20,4	18,3	29,0

Nous avons vu qu'à Alger, pendant toute l'année, l'aiguille arrive à la limite de son excursion à l'est vers 8 heures du matin.

Nous avons vu aussi que dans l'hémisphère sud, près du Cap par exemple, les mouvements inverses de ceux d'Alger, c'est-à-dire que la limite à l'ouest arrive moyennement vers 8 heures du matin, et la limite à l'est vers 1 ou 2 heures du soir.

Ainsi, pendant les mois d'octobre, novembre, décembre, janvier, février et mars, il y a analogie dans les mouvements des aiguilles de déclinaison au Cap et à Sainte-Hélène; dans les mois d'avril, mai, juin, juillet, août et septembre, analogie à Sainte-Hélène et à Alger.

Les observations de M. le capitaine Duperrey, faites à l'île de l'Ascension, dans le mois de janvier, établissent que le pôle de l'aiguille qui regarde le nord s'avançait à l'orient depuis 7 heures du matin jusqu'à $12^h 30^m$, et que l'arc parcouru est de $4^m 40^s$. Ainsi le mouvement de l'aiguille était analogue à celui de l'aiguille du Cap.

M. le capitaine Duperrey nous fournit encore un autre exemple.

Du 6 au 10 septembre 1823, à Offak (île Waigïou), sur l'équateur terrestre, l'extrémité de l'aiguille qui regarde le nord s'avançait vers l'occident depuis 7 heures jusqu'à $11^h 30^m$ du matin, et l'arc parcouru était de $4^m 25^s$ dans cette direction : le soleil passait à 6 degrés au nord de la station.

L'inversion des mouvements observés quand le soleil entre dans un hémisphère, et ensuite dans l'autre, nous conduit à penser qu'il n'existe pas de ligne, sur la surface de la terre, où les variations de déclinaison soient nulles pendant tous les jours de l'année.

Il y a au contraire, pour des lieux voisins de l'équateur, des époques où les mouvements sont très-faibles. Ainsi nous voyons, dans les observations de Sainte-Hélène, qu'en avril et septembre, c'est-à-dire vers les équinoxes de

printemps et d'automne, les variations sont plus petites que dans tous les autres mois.

Ligne où la variation moyenne annuelle de déclinaison est nulle.

Nous venons d'établir qu'il n'existe pas de lieux sur la terre où les mouvements de variation de déclinaison sont nuls pour tous les jours de l'année. Il n'en est pas de même quand on cherche les localités où les variations moyennes annuelles sont nulles. J'entends par variations moyennes annuelles celles qu'on trouve en prenant la moyenne de toutes les positions de l'aiguille à 1 heure, pendant tous les jours de l'année, puis la moyenne de toutes les positions à 2 heures, et ainsi de suite. On obtient alors vingt-quatre valeurs qui représentent la marche de la variation moyenne horaire de l'année.

A mesure que l'on se rapproche de l'équateur, la valeur de cette variation devient de plus en plus faible. Nous pouvons nous en rendre compte au moyen des observations faites à Sainte-Hélène :

Heures.	*Variations.*
22	30,0
Midi	30,5 est.
1	29,8
2	29,3
4	28,9
6	29,8
10	30,5
12	30,2
16	30,3
18	29,9
20	28,4 ouest.
21	29,0

La valeur d'une division de l'échelle étant égale à 0',75, on voit que la différence entre le maximum et le minimum est d'environ 1',5.

D'un autre côté, si nous remarquons que les nombres

croissent quand le pôle de l'aiguille qui regarde le nord marche à l'est, nous verrons qu'il arrive un maximum à l'ouest à 8 heures du matin, et un autre à l'est vers midi.

Ainsi, la courbe moyenne se comporte bien comme appartenant à l'hémisphère austral.

La ligne où la variation annuelle moyenne est nulle passe donc au nord de l'île Sainte-Hélène.

De même qu'il y a une ligne où la variation moyenne annuelle est nulle, il doit y en avoir d'autres pour toutes les valeurs angulaires comprises depuis zéro jusqu'à une certaine limite.

Variations diurnes d'est à ouest d'une aiguille aimantée en divers lieux de la terre.

Les mouvements de l'aiguille de variations diurnes de déclinaison ne sont que les projections, sur un plan horizontal, de ceux exécutés par une aiguille aimantée, retenue par son centre de gravité autour duquel on suppose qu'elle peut se mouvoir librement. Ainsi on comprend que, généralement, les mouvements de projection observés sont d'autant plus considérables que l'inclinaison est plus grande. Cette observation conduit naturellement à rechercher si les différences que l'on remarque entre les variations diurnes de déclinaison près de l'équateur, et celles obtenues près des pôles, ne dépendraient pas principalement de cet angle d'inclinaison, et si, en tenant compte de sa valeur, on ne parviendrait pas à établir que les mouvements diurnes de l'aiguille aimantée, retenue par son centre de gravité, sont aussi forts près de l'équateur que près des pôles.

Pour résoudre cette question d'une manière complète, il faudrait, pour tous les lieux où les observations de déclinaison sont faites, pouvoir tenir compte des variations diurnes correspondantes de l'inclinaison. La chose n'est pas possible aujourd'hui. Nous nous contenterons donc ici d'examiner si les variations d'est à ouest sont les mêmes

dans les diverses latitudes, et nous les obtiendrons en multipliant les variations de déclinaison par le cosinus de l'angle d'inclinaison magnétique du même lieu.

Le tableau suivant renferme une série d'observations faites en des lieux de latitudes différentes. La colonne portant pour titre *variations absolues* contient les produits des variations diurnes de déclinaison par le cosinus de l'inclinaison correspondante.

LIEUX.	LATITUDES.	INCLINAISON.	COSINUS d'inclinaison.	VARIATIONS de déclinaison.	VARIATIONS absolues.	
	° ′	° ′		′ ″	′	
Offak	0. 1	−13.34	0,97	4.25	4,2	Septembre.
Payta	5. 6	+ 4. 6	0,997	1. 0	1,0	Mars.
Ascension	7.55	+ 1.58	0,999	4.40	4,6	Janvier.
Sainte-Hélène	15.55	−15. 3	0,966	7.10	6,8	Janvier.
Le Cap	33.56	−53. 0	0,601	4. 0	2,4	Moyennes annuelles.
Alger	36.47	+57. 0	0,544	6. 5	3,5	
Van Diemen	43 33	−71. 0	0,325	7. 5	2,4	
Toronto	43.39	+75. 0	0,258	8. 6	2,1	
Gœttingue	51.32	+69. 0	0,35	10.23	3,6	
Ascension	7.15	+ 1.58	0,999	9. 6 13. 6	9,6 13,6	Moyennes mensuelles maxima.
Sainte-Hélène	15,55	−17. 0	0,94	5. 9	5,5	
Le Cap	33.56	−53 0	0,601	6. 2	3,7	
Alger	36.47	−57. 0	0,544	9. 8	4,9	
Van Diemen	43.33	−71. 0	0,32	12. 7	4,0	
Toronto	43.39	+75. 0	0,25	13. 3	3,3	
Paris	48.50	+67. 0	0,39	15. 0	5,8	
Gœttingue	51.32	+69. 0	0,35	16. 0	5,6	
Rey-Kiavick	64.10	+76. 0	0,22	20. 0	4,4	

Les quatre premiers résultats ont été obtenus par M. le capitaine Duperrey. Les valeurs des moyennes annuelles ont été fournies par l'Association pour l'étude du magnétisme terrestre; il en est de même pour les moyennes men-

suelles maxima. On doit en excepter celles de Rey-Kiavick, qui sont dues à M. Lottin.

En examinant le tableau précédent, on remarque que la variation absolue d'est à ouest, au 64e degré de latitude, c'est-à-dire dans le lieu le plus rapproché du pôle, est de 4',4, tandis qu'à Sainte-Hélène, située sur le 15e degré, la variation est de 5',5. Cet exemple prouve clairement que l'amplitude de l'écart angulaire d'est à ouest, de l'aiguille magnétique supposée libre et mobile autour de son centre de gravité, n'augmente pas toujours, quand on marche de l'équateur vers les pôles. Les observations faites à l'Ascension, en décembre 1841, par le capitaine William Allen, commandant le bâtiment à vapeur *le Wilberforce*, donnent, pour la variation angulaire, 9',6 et 13',6, ou, en moyenne, 11',6. Si l'on compare ce résultat au nombre trouvé par M. Duperrey, on est porté à croire qu'il est trop fort. En l'admettant comme exact, l'écart angulaire serait plus grand en ce lieu qu'en tous les autres indiqués dans le tableau.

CHANGEMENTS SÉCULAIRES DE LA VARIATION DIURNE DE LA DÉCLINAISON.

Les considérations précédentes nous ayant conduit à établir que la variation absolue d'est à ouest d'une aiguille librement suspendue par son centre de gravité, change peu avec les latitudes, nous avons cru pouvoir en conclure que si, dans un même lieu, à Paris par exemple, l'inclinaison vient à changer, la grandeur des variations diurnes de déclinaison sera modifiée dans le rapport inverse des cosinus de l'inclinaison. Pour mieux faire comprendre ma pensée, je vais me servir d'un exemple.

En 1671, l'inclinaison était, à Paris, de 75 degrés; en 1834, de 67 degrés.

L'amplitude de la variation diurne moyenne était d'environ 11 minutes vers 1834.

Pour retrouver celle qui existait en 1671, il faut poser la proportion

$$\frac{1}{\cos 67^\circ} : \frac{1}{\cos 75^\circ} :: 11' : x = \frac{\cos 67^\circ}{\cos 75^\circ} \times 11' = 16',5.$$

Je suis loin de penser que le changement d'inclinaison soit la seule raison de la modification des variations de déclinaison; mais il me paraît probable qu'elle est une des plus puissantes.

A quelle cause on doit attribuer les différences considérables que l'on remarque entre les variations séculaires de la déclinaison et celles de l'inclinaison.

Vers l'année 1660, la déclinaison, à Paris, était nulle; en 1820, elle était de 22 degrés et quelques minutes à l'ouest : elle revient depuis lors vers l'est.

En 1671, l'inclinaison était, à Paris, de 75 degrés; depuis cette époque, elle a constamment diminué.

En 1829, elle était de $67^\circ 41'$.

Si maintenant l'on remarque, comme je l'ai dit plus haut, que généralement la vitesse de variation de déclinaison a été en diminuant, et celle de l'inclinaison en augmentant, on verra que l'arc décrit par une aiguille supposée suspendue par son centre de gravité a été engendré par un mouvement de rotation inverse de celui du soleil.

La variation de la déclinaison a été d'environ 22 degrés, et celle de l'inclinaison de $7^\circ 19'$. C'est à peu près le rapport de 3 à 1. On peut facilement se rendre compte de la grande différence qui existe entre ces deux nombres en examinant comment l'on mesure l'inclinaison et la déclinaison.

Pour bien expliquer notre pensée, nous supposerons une sphère ayant pour diamètre une aiguille aimantée retenue par son centre de gravité. Chaque fois que l'aiguille sera en mouvement, elle décrira sur la surface sphérique une certaine courbe qui, projetée convenablement, repré-

sentera les positions de l'aiguille de déclinaison ou celles de l'inclinaison.

Pour obtenir les premières, on projettera la courbe sur un plan horizontal. Pour trouver les secondes, au contraire, on fera tourner la sphère autour d'un axe vertical. Elle entraînera avec elle la courbe décrite par l'aiguille. L'intersection des différents points de cette courbe, avec un cercle vertical fixe, représentera les différentes valeurs de l'inclinaison.

Il y a donc, comme on voit, entre les deux procédés une grande différence, et la méthode suivie pour la déclinaison doit donner des valeurs angulaires toujours trop fortes. Si l'on voulait appliquer à la déclinaison une méthode analogue à celle suivie pour l'inclinaison, il faudrait faire tourner la sphère autour d'un axe horizontal dirigé d'est à ouest. Les intersections successives de la courbe décrite par l'extrémité de l'aiguille avec un cercle horizontal représenteraient les variations réelles de l'aiguille d'est à ouest; de même qu'avec le procédé suivi pour l'inclinaison, nous avons déterminé les variations réelles de l'aiguille du nord au sud.

Il est facile, au moyen d'une formule de géométrie, de rapporter les valeurs angulaires de déclinaison obtenues par la méthode ordinaire à celles qu'elles auraient eues dans le cas où l'on aurait effectué cette rotation de la sphère autour d'un axe horizontal.

Soit α l'angle de déclinaison observé qui est toujours trop fort; soient X l'angle que l'aiguille fait dans l'espace avec le méridien terrestre, et β l'angle d'inclinaison; on a

$$\sin X = \cos\beta \sin\alpha.$$

En prenant pour α et β les valeurs 22 degrés et $67^\circ 41'$, on trouve que $X = 8^\circ 11'$. Ce nombre représente la variation réelle d'est à ouest, celle de nord à sud étant de $7^\circ 19'$. Ces deux valeurs, comme on voit, sont peu différentes.

Hypothèse sur la cause des variations diurnes de l'aiguille aimantée.

Depuis longtemps on a reconnu que les variations diurnes magnétiques changent avec la position horaire du soleil. Ainsi généralement, dans l'hémisphère boréal, le pôle de l'aiguille de déclinaison qui regarde le nord, marche à l'ouest depuis 8 heures du matin jusqu'à 2 heures du soir, et revient ensuite à l'est pendant la nuit. Comme ces mouvements varient avec la position horaire du soleil dans les différents lieux de la terre, on peut admettre qu'ils dépendent en quelque sorte de son action sur le globe terrestre.

Si nous examinons ce qui se passe sur l'hémisphère austral, nous voyons que le pôle de l'aiguille de déclinaison qui regarde le nord marche à l'est depuis 8 heures du matin jusqu'à 2 heures du soir, puisqu'il revient à l'ouest pendant la nuit.

Ainsi, des deux côtés de l'équateur, les mouvements de déclinaison sont symétriques. Le principal centre d'action se trouve donc placé près de ce grand cercle. Maintenant, si l'on remarque qu'en un même lieu, à Paris par exemple, l'amplitude de la variation diurne est plus grande en été qu'en hiver, et qu'au cap de Bonne-Espérance, ville située dans un autre hémisphère que celui de Paris, l'amplitude de la variation est plus grande en hiver qu'en été, on pourra tirer cette conséquence, que le centre d'action se déplace avec le soleil. Quand il entre dans l'hémisphère boréal, le centre d'action se rapproche de Paris, et les variations diurnes vont en augmentant.

Ce que nous avons dit des variations de déclinaison peut s'appliquer aux variations d'intensité. A Paris, en hiver, celles-ci sont les plus faibles, et, en été, elles sont les plus fortes. L'effet est inverse au cap de Bonne-Espérance.

Pour expliquer l'action solaire sur l'aiguille aimantée,

on a admis que les rayons calorifiques qui viennent frapper la terre produisent des courants thermo-électriques, et que la force et la direction de ceux-ci déterminent les mouvements magnétiques observés.

On a supposé qu'il existe sur l'équateur des courants qui marchent constamment de l'est à l'ouest, et que c'est par leur influence que les aiguilles aimantées se tournent chacune dans une certaine direction déterminée.

Cette hypothèse explique bien pourquoi, dans tous les points de la terre, une aiguille aimantée doit prendre une certaine orientation; mais elle ne peut rendre compte des mouvements diurnes observés dans les deux hémisphères et expliquer pourquoi la marche des aiguilles de déclinaison est inverse dans ces deux régions.

Si l'on suppose que le soleil, en échauffant la terre, y produit des courants thermo-électriques, il semble naturel de croire qu'autour du point le plus échauffé, il n'y a pas de raison pour que le courant aille plutôt dans un sens que dans un autre, plutôt de l'est à l'ouest que de l'ouest à l'est. La loi de symétrie nous conduit à admettre que, s'il y a des courants produits, ils doivent rayonner dans toutes les directions, à partir du lieu le plus échauffé, ou bien converger tous vers ce point.

Admettons, pour un instant, cette hypothèse, et voyons si, par elle, il ne serait pas possible d'expliquer d'une manière approximative les phénomènes de variations diurnes magnétiques observées à la surface du globe.

Nous venons de dire que les courants émanaient tous du point le plus échauffé ou y convergeaient. Par suite ce point, se déplaçant avec le soleil, doit faire le tour du globe en vingt-quatre heures, de sorte qu'en chaque lieu de la terre, excepté sur le parallèle où est le centre d'action, la direction et la force des courants changent pendant toute la durée du jour.

La première conséquence que nous tirons de notre hypo-

thèse, c'est que les mouvements diurnes de déclinaison sont généralement symétriques des deux côtés de l'équateur.

Maintenant le méridien où la température de la croûte terrestre est le plus échauffé, se trouvant à peu près celui de 2 heures du soir, c'est vers le lieu de l'équateur où il est coupé par ce méridien que nous placerons le centre où aboutissent les courants thermo-électriques.

Cherchons maintenant si les observations faites dans les deux hémisphères sont d'accord avec cette hypothèse.

Nous avons dit qu'à Paris le pôle nord de l'aiguille de déclinaison marche à l'ouest, depuis le matin jusqu'à 2 heures du soir, puisqu'il revient à l'est jusqu'à la nuit.

Que sur une sphère on trace un grand cercle représentant l'équateur, et que, d'un point de cet équateur, on fasse partir, dans toutes les directions, des arcs de grands cercles représentant la marche des courants thermo-électriques; si, sur un parallèle à cet équateur on fait cheminer une aiguille, dont un pôle regarde le pôle de cette sphère, on verra bien que le maximum d'écart angulaire de l'aiguille arrivera quand celle-ci passera sur le méridien de 2 heures; que cet écart aura lieu dans un sens sur un hémisphère, et en sens contraire sur l'autre.

Les mouvements de déclinaison sont donc d'accord avec notre hypothèse. Voyons s'il en est de même de ceux d'inclinaison.

Nous avons dit que généralement, dans l'hémisphère nord, l'inclinaison était à son maximum vers 9 ou 10 heures du matin, puis qu'elle diminuait jusqu'à 4 ou 5 heures du soir.

Les courants thermo-électriques qui arrivent dans la matinée tendent à chasser, vers le pôle austral de la terre, la pointe de l'aiguille qui regarde le nord; ils doivent donc augmenter l'inclinaison de l'aiguille. A 2 heures du soir, ils tendent à diriger le pôle qui regarde le nord vers l'ouest, alors ils n'augmentent pas l'inclinaison; plus tard, au con-

traire, ils tendent à le chasser vers le nord, ils diminuent alors beaucoup l'inclinaison.

De plus, les courants thermo-électriques montrent que, dans les deux hémisphères, l'inclinaison est plus grande le matin que le soir.

Il nous reste à parler des variations d'intensité totale; celle-ci, à Toronto, augmente depuis 10 heures du matin jusque vers 6 heures du soir. Les courants expliquent encore cet effet; car, quand une aiguille est tournée vers le nord et qu'on place près de cette aiguille un courant électrique dirigé à angle droit avec elle, et de façon que l'aiguille ne quitte pas sa direction vers le nord, l'intensité magnétique de l'aiguille augmente. Si l'on donne au courant une direction inverse, l'intensité de l'aiguille diminue.

C'est ce qui a lieu pour les courants thermo-électriques de la terre; le matin, ces courants tendent à renverser la direction de l'aiguille aimantée; et le soir, au contraire, le courant ne fait qu'affermir l'aiguille dans sa position.

Ainsi l'intensité magnétique doit être faible le matin, moyenne à 2 heures, et plus forte quelques heures après *dans les deux hémisphères*.

Nous avons admis, en commençant, qu'autour du point le plus échauffé la distribution des températures était la même. Cela n'est pas tout à fait exact. S'il en eût été comme je l'avais établi, le méridien le plus froid aurait correspondu à 2 heures du matin. Or, on sait que, sur un parallèle, le lieu le plus froid est celui où il est 7 heures du matin, quelquefois avant cet instant, quelquefois après.

Les mouvements de l'aiguille aimantée de déclinaison ne doivent donc pas être symétriques sur un parallèle, par rapport au méridien de 2 heures.

Les courants qui marchent sur l'équateur aboutissent au méridien de 2 heures et partent de celui où la température est la plus basse, qui correspond à 5 ou 7 heures du matin.

L'un va de l'est à l'ouest et dure depuis 2 heures du soir jusqu'à 5 ou 7 heures du matin; l'autre, au contraire, va de l'ouest à l'est, depuis 5 ou 7 heures du matin jusqu'à 2 heures du soir. Ainsi, un corps susceptible d'aimantation, placé sur l'équateur, se trouve soumis pendant seize heures à un courant qui va d'est à ouest, et pendant huit heures seulement, à un courant qui va d'ouest à est. Il est donc naturel d'admettre que l'effet magnétique final de ce corps doit être déterminé par le courant qui agit le plus longtemps, et que c'est lui qui a fixé la nature des deux pôles magnétiques de la terre.

REMARQUES

Sur la théorie de M. Leplay, ingénieur des Mines, touchant la réduction des oxydes métalliques par le charbon (1);

PAR M. GAY-LUSSAC.

On doit à M. Leplay une théorie nouvelle de la réduction des oxydes métalliques par le charbon. Elle consiste, en dernier résultat, à refuser au carbone, comme corps solide, toute action directe sur les oxydes et à expliquer leur réduction par l'oxyde de carbone qui se forme dans tous les fourneaux où l'on traite les minerais métalliques. On avait admis généralement que la réduction des oxydes s'opérait, ou directement par le charbon dans le cas de mélange, ou par cémentation jusque dans l'intérieur des masses, à défaut d'un contact suffisant. Or, la cémentation étant, selon M. Leplay, une opération inexpliquée, mystérieuse, présentait le carbone comme un corps anormal, et c'est là précisément ce qui a fixé son attention sur la réduction des oxydes métalliques. En visitant les usines à zinc du nord

(1) *Annales de Chimie et de Physique,* 2e série, tome LXII, page 29.

de l'Allemagne, dans lesquelles on prépare ce métal en chauffant un mélange d'oxyde et de charbon, M. Leplay remarqua avec étonnement que l'on regardait comme une circonstance assez indifférente au succès de l'opération, l'intimité plus ou moins grande du mélange; et c'est alors qu'il conçut que la réduction des oxydes était due, non au charbon, mais bien à l'oxyde de carbone. Cette opération devient, en effet, très-facile à concevoir avec l'intervention de l'oxyde de carbone lorsqu'il est apte à la produire. Ce gaz, formant atmosphère autour des masses minérales, et pénétrant dans leurs plus petits interstices, doit les réduire beaucoup plus promptement que le charbon avec lequel leur contact est moins intime. On ne peut conséquemment s'empêcher de le considérer comme l'agent réducteur et le véhicule qui porte sur le charbon l'oxygène de l'oxyde métallique. Son action se propage de telle sorte que, si l'on conçoit deux masses de charbon et d'un oxyde, placées à distance l'une de l'autre dans une enceinte fermée, mais pouvant donner issue au gaz, elles réagiront cependant l'une sur l'autre, pourvu que l'enceinte soit primitivement remplie d'oxyde de carbone, ou d'acide carbonique, ou même d'air atmosphérique, et que la température soit assez élevée pour permettre la conversion de l'acide carbonique en oxyde de carbone au moment de son contact avec le charbon.

M. Leplay a constaté, pendant le cours de nombreux voyages métallurgiques, que, dans tous les fourneaux à courant d'air forcé où l'on réduit les oxydes de fer, de plomb, de cuivre et d'étain, il n'existe aucun contact appréciable entre les minerais et le charbon; que l'opération ne réussit même pas quand le mélange est aussi complet que possible, et qu'au contraire, la marche des fourneaux est d'autant plus parfaite que le contact est plus insignifiant. Il conclut enfin que le traitement des oxydes et des métaux par le charbon, soit par la voie de mélange, soit par cémen-

tation, n'est, dans tous les cas, qu'un moyen simple et économique de les soumettre à l'action de l'oxyde de carbone, et il établit en principe que *l'oxyde de carbone réduit tous les composés et carbure tous les métaux qui peuvent être réduits et carburés par cémentation.*

L'histoire chimique du carbone ne présente plus, dans cette théorie, rien d'anormal, puisque son action s'explique par celle de l'oxyde de carbone et de l'acide carbonique qui lui servent de véhicule dans la plupart des grands phénomènes de la nature et de l'art où il intervient. Cependant, quoique la théorie qui vient d'être exposée fût basée sur un grand nombre d'observations métallurgiques, M. Leplay n'en a pas moins voulu la vérifier par des expériences de laboratoire, et dans ce but, il s'est associé avec M. Laurent. Le Mémoire qu'ont publié ces deux savants distingués (1) a pour titre : *Théorie de la cémentation*, avec cette épigraphe : *Corpora non agunt nisi soluta.*

Faisons remarquer d'abord le sens de cette épigraphe, qui rend plus explicitement que ne l'avait fait M. Leplay sa pensée intime et celle de M. Laurent : *Les corps n'agissent que dissous* et conséquemment ne peuvent agir, tant qu'ils restent solides, dans les circonstances où ils sont placés. Passons maintenant aux expériences.

MM. Leplay et Laurent ont soumis divers oxydes et des sels à un courant d'oxyde de carbone dans un tube de porcelaine chauffé à 25 ou 30 degrés Wedgwood, et ils ont obtenu les résultats suivants.

Un morceau d'hématite et un cristal de fer oligiste ont été parfaitement réduits. Retirés vers le milieu de l'opération, ils ont été trouvés convertis en deutoxyde très-compacte, recouvert d'une pellicule de fer doux.

Les oxydes de cobalt, de nickel et d'étain ont été ramenés

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, tome LXV, page 403.

à l'état métallique. L'acide tungstique a été changé en tungstène.

Mais les oxydes de cérium, de chrome, de titane n'ont pas éprouvé d'altération.

Des cristaux de sulfate de baryte et de sulfate de chaux ont été complétement convertis en sulfures.

Pour prouver que l'oxyde de carbone est l'agent réducteur dans les creusets brasqués, MM. Leplay et Laurent ont introduit, dans un tube de porcelaine chauffé à 30 ou 35 degrés Wedgwood, un cristal de peroxyde de fer et un morceau de charbon, placés chacun isolément dans une petite auge en platine. Pendant toute la durée de l'opération, il s'est dégagé un mélange d'oxyde de carbone et d'acide carbonique dans lequel le premier a toujours été en excès sur le second. L'opération terminée, l'oxyde s'est trouvé parfaitement réduit à l'état métallique. Dans cette expérience, l'action chimique commence par la production d'oxyde de carbone au moyen de l'oxygène de l'air contenu dans l'appareil; ce gaz, parvenu au contact de l'oxyde de fer, le réduit et se change en acide carbonique qui, à son tour, se porte sur le charbon et régénère de l'oxyde de carbone. La réduction de l'oxyde s'accomplit ainsi successivement jusqu'à son terme.

Ce qui se passe dans le tube de porcelaine, entre une masse d'oxyde et une masse de charbon séparées l'une de l'autre, doit également se produire, suivant MM. Leplay et Laurent, dans les creusets brasqués; ils regardent cette expérience comme démontrant, de la manière la plus évidente, que le contact n'est pas nécessaire. On nous a objecté, disent-ils, que cela ne prouvait pas que le contact n'eût aucune influence dans les creusets brasqués, et que l'oxyde ne fût réduit à la fois, et par l'oxyde de carbone, et par cémentation. Mais qu'entend-on par ce mot cémentation? C'est un mot inventé pour indiquer une cause in-

connue, un effet inexplicable, pour indiquer une anomalie, la seule de cette espèce qui s'offre en chimie. Nous avons fait voir que cette anomalie n'était qu'apparente; pourquoi donc voudrait-on continuer à admettre une action mystérieuse, lorsqu'il se présente une explication simple qui rentre dans les lois générales de la chimie, et qui consiste, pour la conversion du fer en acier par exemple, à dire qu'elle est produite, non par le charbon même en contact avec le fer, mais bien par l'oxyde de carbone? MM. Leplay et Laurent ont, il est vrai, renversé cette théorie de la carburation, en reconnaissant plus tard que le fer ne décomposait pas l'oxyde de carbone; mais de nouvelles expériences, particulières à M. Laurent, l'ont conduit à admettre que le carbone se réduisait en vapeur à une très-haute température, et que la carburation du fer était due à cette vapeur, à l'exclusion du carbone qui ne peut la produire, tant qu'il reste solide.

Telle est donc la nouvelle théorie de M. Leplay, adoptée aussi par M. Laurent, sur la réduction des oxydes métalliques par le charbon, et sur la carburation par cémentation. Ces deux opérations sont dues l'une et l'autre à l'oxyde ou à la vapeur du carbone; et comme elles sont très-claires, très-compréhensibles par l'intervention de ces deux fluides élastiques, et qu'elles sont conformes au principe des anciens chimistes qu'elles confirment encore : *corpora non agunt nisi soluta,* l'action du carbone, comme corps solide, doit être nulle parce qu'elle ne se comprend pas, qu'elle est mystérieuse. Mais combien de phénomènes sont cependant entourés pour nous du plus profond mystère! Les nier serait-ce donc les expliquer? MM. Leplay et Laurent, tout en prouvant que l'oxyde et la vapeur du carbone peuvent réduire des oxydes et carburer des métaux, auraient dû prouver aussi que le carbone est impuissant, comme corps solide, à produire les mêmes effets; les explications, si faciles à trouver, seraient venues après. Leur théorie est donc in-

complète, inexacte peut-être sous certains rapports, et quelques courtes observations en donneront la preuve.

Est-il vrai que le carbone, comme corps solide, ne peut pas réduire les oxydes métalliques, ni carburer les métaux?

Cependant, lorsqu'on chauffe, avec du noir de fumée fortement calciné, un oxyde métallique facilement réductible, comme les oxydes d'argent, de mercure, de cuivre, de plomb, de bismuth, etc. (1), la réduction a lieu avant la chaleur rouge, et bien au-dessous de la température à laquelle le carbone peut transformer l'acide carbonique en oxyde de carbone, et il ne se dégage que de l'acide carbonique absolument pur. Pour tous ces oxydes, la réduction est opérée directement par le carbone, et ne peut être attribuée à son oxyde qui est absent de l'opération.

Sans doute, l'oxyde de carbone réduirait aussi très-bien, à une température convenable, les mêmes oxydes métalliques, et sûrement plus vite que le carbone; mais ce n'est pas là la question; il me suffit de démontrer, ou plutôt de rappeler, que le carbone seul, et à une température très-modérée, réduit les oxydes métalliques sans intervention aucune de l'oxyde de carbone ou de tout autre fluide élastique.

Mais, indépendamment des oxydes que le carbone réduit directement à une température inférieure à celle à laquelle il pourrait décomposer l'acide carbonique, il en est beaucoup d'autres qui résistent à l'oxyde de carbone, même à une température très-élevée, et qui sont réductibles par le carbone. Tels sont les oxydes de manganèse, de chrome, de cérium, de titane, de potassium, etc.

Or, puisque le carbone réduit et les oxydes qui ne demandent qu'une chaleur modérée et ceux qui en exigent

---

(1) Il est utile d'avertir que l'oxyde d'argent, chauffé modérément avec le noir de fumée dans un tube de verre, se réduit brusquement avec une assez forte explosion.

une très-élevée, circonstances dans lesquelles l'oxyde de carbone reste inactif, n'est-il pas évident qu'il pourra réduire aussi les oxydes qui exigent une chaleur intermédiaire à laquelle l'oxyde de carbone pourrait manifester son action? Mais, en disant que le carbone agirait alors concurremment avec l'oxyde de carbone dans la réduction des oxydes, nous ne voulons que poser le fait, convaincu d'ailleurs que par suite d'un contact beaucoup plus intime avec le minerai que n'en peut avoir le charbon, il doit en opérer la réduction beaucoup plus rapidement.

On dira sans doute que, lorsqu'un oxyde exige une haute température pour être réduit, ce n'est pas lui qui est l'agent réducteur, mais bien sa vapeur. Nous pourrions répondre que l'intervention de la vapeur de carbone dans la réduction des oxydes, et son existence même, pourraient être regardées comme étant encore problématiques; mais laissant de côté cette objection, pourquoi refuserait-on au carbone à une haute température la propriété de réduire immédiatement, par cémentation si l'on veut, les oxydes et de carburer les métaux, quand il est incontestable que, dans les circonstances les plus défavorables, à une température peu élevée, il réduit directement un grand nombre d'oxydes métalliques?

Nous sommes donc fondé à dire, d'après des expériences directes et les plus fortes analogies, que le carbone, quoique solide et conservant cet état, peut agir sur d'autres corps également solides, bien que son action doive être plus lente que celle de l'oxyde de carbone, quand ils sont placés d'ailleurs l'un et l'autre dans des circonstances semblables, favorables à tous deux. MM. Leplay et Laurent, pour expliquer la cémentation et la carburation par simple contact, qui, pour eux, sont des opérations obscures et mystérieuses, invoquent l'état vaporeux que peut prendre le carbone, et croient en avoir résolu toutes les difficultés; mais la cémentation, ou la propagation d'un effet chimique

à travers la masse d'un corps solide, a lieu tout aussi bien par addition de matière que par soustraction; et si, dans ce dernier cas, la matière soustraite, comme l'oxygène d'un oxyde, laisse effectivement des pores accessibles à un fluide élastique, tel que l'hydrogène ou l'oxyde de carbone, il n'en est plus de même pour la cémentation avec addition de matière, comme dans la carburation du fer où le métal conserve toute son imperméabilité. En admettant donc que la vapeur de carbone ait déposé une première couche de carbone à la surface du fer et qu'il y ait eu combinaison, comment la carburation se propagera-t-elle dans l'intérieur de la masse, inaccessible à la vapeur du carbone, et en quoi différera-t-elle de celle qui s'effectuera par le simple contact du charbon? Enfin en quoi sera-t-elle moins mystérieuse? Assurément, la cémentation, prise dans sa généralité, n'est pas encore suffisamment expliquée, mais on peut maintenir qu'elle est entièrement indépendante de la fluidité du corps cémentant; car, dès qu'on admet que le fluide peut pénétrer dans les pores du corps solide et y exercer son action, il n'y a plus alors, à proprement parler, cémentation ou propagation d'une action chimique à travers sa masse, il y a simplement action par voie de contact ou de mélange.

Quant à l'oxyde de carbone considéré comme agent réducteur, personne ne songe à lui contester cette propriété. Il y a longtemps qu'elle est connue des chimistes, et la grande affinité qu'il a pour l'oxygène, et qui est démontrée par la chaleur très-vive qu'il produit pendant sa combustion, en dépose suffisamment; mais M. Leplay a le mérite d'en avoir le premier assigné l'importance dans la métallurgie, et pour ma part je le proclame hautement. Je n'ai voulu, en présentant ces observations, que contester le principe trop absolu qu'il a posé, savoir, que des corps solides ne peuvent agir les uns sur les autres, si l'un d'eux au moins n'est fluide. Ce qui a trompé M. Leplay, c'est d'avoir vu dans les usines métallurgiques des réductions d'oxydes

opérées très en grand par le seul secours apparent de l'oxyde de carbone, et d'avoir conclu que l'action du carbone était nulle parce qu'elle lui semblait insignifiante. La différence de leur action, toutes les fois que ces deux corps sont en présence d'un oxyde qu'ils ont l'un et l'autre la puissance de réduire, est sans aucun doute fort grande; mais elle n'en reste pas moins due à des causes purement mécaniques qui ne doivent pas faire négliger l'action chimique que chacun d'eux peut exercer, suivant les circonstances où ils peuvent se trouver placés.

Que la cémentation soit une opération obscure et mystérieuse, comme le pensent MM. Leplay et Laurent, nous ne le contesterons pas, mais nous n'admettrons pas non plus qu'elle le soit au point de forcer, pour l'expliquer, à oublier les plus claires évidences admises en chimie. La cémentation peut se concevoir lorsque les corps en présence agissent en proportions indéfinies, comme le carbone à l'égard du fer; mais, lorsqu'ils sont arrivés à l'état monoatomique, le partage de l'une à l'autre couche présente de graves difficultés. Cependant les curieuses expériences de M. Berthier sur la cémentation ne permettent pas de douter qu'elle s'opère aussi par sauts atomiques. Il a reconnu, en effet, qu'une masse pas trop considérable de peroxyde de fer, dans un creuset brasqué, se transforme en totalité en oxyde magnétique, avant qu'il ne se forme du fer métallique; puis la réduction se propage de la surface au centre, en s'opérant de telle manière qu'à mesure qu'il se produit du fer métallique à la surface, il se produit de l'oxyde des battitures à l'intérieur et jusqu'au centre, mais en proportions décroissantes de la surface à ce point. Enfin, quand la cémentation est très-avancée, le culot se recouvre d'une épaisseur notable de fer aciéreux. (Berthier, *Essais par la voie sèche*, tome II, page 186.)

MM. Leplay et Laurent ont également vu qu'un morceau d'hématite et un cristal de fer oligiste, soumis à l'action de

l'oxyde de carbone, peuvent être parfaitement réduits, mais que, retirés vers le milieu de l'opération, ils étaient convertis en deutoxyde très-compacte, recouvert d'une couche de fer doux.

Ce résultat semblerait démontrer que, même avec l'oxyde de carbone, et bien que l'on conçoive son introduction dans les pores laissés libres par l'enlèvement de l'oxygène, la réduction s'est opérée par pure cémentation comme avec le carbone, c'est-à-dire par transmissions successives de la surface au centre. Il est même possible d'en donner une explication satisfaisante.

Il faut se rappeler que l'oxyde de carbone réduit l'oxyde de fer, et que le fer métallique à son tour décompose l'acide carbonique.

Supposons une action également puissante de réduction par l'oxyde de carbone, et d'oxydation par l'acide carbonique.

Il en résulterait qu'un mélange d'une molécule d'oxyde de carbone et d'une molécule d'acide carbonique, en présence d'une molécule d'oxyde de fer ou d'une molécule métallique, ne pourrait ni réduire la première, ni oxyder la seconde. Il faudra, pour qu'il y ait action, que l'un des deux gaz soit en excès par rapport à l'autre, et constamment elle s'exercera dans le sens du gaz prédominant.

Si donc on conçoit un pore moléculaire devenu libre par l'enlèvement de la molécule d'oxygène qui le remplissait, et qu'une molécule d'oxyde de carbone s'y soit introduite, il n'y aura pas de raison pour qu'elle puisse agir sur une molécule d'oxyde environnante; car, si la réduction pouvait avoir lieu, on aurait en présence une molécule de fer et une molécule d'acide carbonique qui pourraient au même titre, par leur action réciproque, reproduire de l'oxyde de fer et de l'oxyde de carbone. Dans la supposition où nous nous sommes placé, il faudrait, pour que la réduction fût possible, qu'il pût arriver dans le pore moléculaire plusieurs

molécules d'oxyde de carbone, ce que l'on conçoit très-bien ne pouvoir se faire.

Ainsi, dans l'exemple que nous venons de prendre et dans maints autres semblables, l'oxyde de carbone ne pourrait pénétrer dans l'intérieur des masses et y opérer la réduction. Si donc, comme nous le croyons, il est l'agent principal de réduction des minerais de fer, c'est parce qu'il y trouve, non des pores moléculaires, mais d'innombrables fissures qui facilitent son accès en masse vers chaque molécule d'oxyde. Quand la réduction n'est pas ainsi rendue complète, par défaut d'une perméabilité suffisante des masses à l'oxyde de carbone, la fusion de la gangue permet à ce gaz de l'achever.

Cet exemple fait voir l'inefficacité de l'oxyde de carbone dans les circonstances mêmes où sa puissance suffit à la réduction, et que son action n'est pas si simple, si héroïque, si générale que l'ont pensé MM. Leplay et Laurent. Quoique je ne pense pas, avec ces savants distingués, que la cémentation soit une opération mystérieuse, inabordable aux chimistes et aux physiciens, je conviens qu'elle a besoin d'être mieux étudiée qu'on ne l'a fait jusqu'à présent, et j'ai la conviction qu'on ne ferait pas de vains efforts.

J'ajoute, en terminant, qu'il n'est plus permis aujourd'hui d'avoir une foi aveugle au principe si banalement répété des anciens chimistes, *corpora non agunt nisi soluta*. Il est certain, au contraire, que tous les corps, solides, liquides ou aériformes, agissent les uns sur les autres, mais que, des trois états des corps, l'état solide est le moins favorable à l'exercice de l'affinité.

ESSAI DE L'ARGENT CONTENANT DU MERCURE;

PAR M. GAY-LUSSAC.

L'essai de l'argent par la voie humide, dans le bureau de garantie de Paris, m'avait fourni l'occasion de reconnaître que, lorsqu'il contenait quelques millièmes de mercure, le titre accusé était inexact et trop élevé d'environ la quantité atomique du mercure entraîné avec l'argent, au moment de la précipitation par la dissolution normale du sel marin, malgré la présence d'un grand excès d'acide nitrique (1). Ce fait établi, j'avais reconnu que la proportion de 4 à 5 millièmes de mercure dans l'argent empêche le chlorure de bleuir à la lumière diffuse, et que l'influence de ce métal, quoique diminuant rapidement, se fait encore sentir à la proportion de 1 millième et même de un demi-millième dans une lumière diffuse très-modérée. L'essayeur se trouvait ainsi averti de la présence du mercure dans un lingot d'argent; mais il restait obligé de recourir pour ce cas à la coupellation pendant laquelle le mercure se volatilise en totalité ou au moins en très-grande partie. C'eût été un grave reproche adressé à la voie humide si le mercure se rencontrait plus fréquemment dans l'argent; mais heureusement sa présence y est très-rare. Quoi qu'il en soit, M. Levol, aide-essayeur à la Monnaie de Paris, vient de rendre à ce procédé, très-répandu aujourd'hui, un service important en lui restituant la généralité que la présence du mercure dans l'argent lui avait fait perdre (2). Les observations que je vais présenter n'ont d'autre but que d'y apporter quelques très-légères modifications.

M. Levol, après avoir précipité approximativement l'argent de sa dissolution nitrique, au moyen de la dissolution

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, tome LVIII, page 218.
(2) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XVI, page 503.

normale de sel marin, dissout le chlorure d'argent par l'ammoniaque, puis le fait reparaître en saturant l'alcali par l'acide acétique. Par ce procédé, le mercure est rendu entièrement inactif dans l'essai, et il ne reste plus qu'à le terminer, comme à l'ordinaire, par des additions successives, soit de nitrate d'argent, soit de sel marin, suivant que l'exige l'opération. Le titre obtenu est exact, parce qu'il est devenu indépendant du mercure qui reste en entier en dissolution dans la liqueur, et le chlorure d'argent précipité conserve la propriété de bien bleuir à la lumière. Il est seulement à remarquer que la liqueur, troublée par le chlorure d'argent, s'éclaircit moins bien par l'agitation qu'à l'ordinaire, mais assez pour qu'on puisse apprécier le moment de la saturation.

M. Levol suppose, pour donner la théorie de son procédé, que l'ammoniaque produit, avec le peroxyde de mercure, le sel double que M. Thenard appelle *sous-azotate de bioxyde de mercure et d'ammoniaque*, composé qui aurait la propriété de résister à plusieurs agents très-énergiques, et particulièrement au chlore de la dissolution de sel marin, en sorte que le résultat de l'essai ne serait plus affecté d'erreur par la présence du mercure. Quant à l'acide acétique employé à la saturation de l'ammoniaque, il ne paraît pas à M. Levol intervenir autrement que pour saturer cet alcali, et il pense que les acides nitrique et sulfurique pourraient le remplacer, pourvu que ces acides fussent assez dilués pour qu'on ne retombât pas sous leur influence dans les inconvénients attachés à la précipitation du mercure; mais alors les liqueurs se trouveraient étendues de manière à rendre l'opération fort embarrassante. Voici maintenant mes propres observations.

Après avoir constaté par plusieurs essais l'exactitude du procédé de M. Levol, j'ai pensé qu'on pouvait le simplifier en ajoutant tout à la fois à la dissolution nitrique de l'argent, l'ammoniaque et l'acide acétique réunis ensemble,

mais en quantité suffisante pour saturer tout l'acide nitrique, tant celui combiné avec l'argent que celui qui restait à l'état de liberté.

10 grammes d'acétate d'ammoniaque ont ainsi été ajoutés avec un peu d'eau à l'argent dissous dans 5 centimètres d'acide nitrique à 32 degrés. Il s'est produit aussitôt un abondant magma d'acétate d'argent sur lequel on a versé une mesure normale de sel marin. L'essai terminé, le titre accusé par la synthèse a été retrouvé très-exactement, quoique, à l'exemple de M. Levol, on eût ajouté à l'argent jusqu'à 100 millièmes de mercure.

Désirant constater l'utilité de l'ammoniaque dans le procédé, j'ai remplacé l'acétate d'ammoniaque par l'acétate de soude que j'ai employé en cristaux dans la proportion de 10 grammes. Le titre en argent a encore été trouvé très-exactement; le chlorure d'argent a parfaitement bleui à la lumière, et le mercure a été reconnu sans peine dans la liqueur surnageante.

Il résulte conséquemment de cette observation que la théorie de M. Levol, consistant à admettre un sous-nitrate d'ammoniaque et de mercure, n'est point exacte, puisque la soude peut remplacer l'ammoniaque. Cette théorie, peut-on dire, pèche doublement; car l'acide nitrique peut aussi être remplacé par l'acide sulfurique concentré pour dissoudre l'argent, et tout reste semblable.

Enfin, pour savoir si l'excès d'acide n'était pas nécessaire pour maintenir le mercure en dissolution, on a préparé deux essais, auxquels on a ajouté la dissolution normale de sel marin, puis on a dissous chaque chlorure d'argent par l'ammoniaque. Mais alors on a opéré la saturation de l'alcali dans l'un des essais avec de l'acide nitrique, et dans l'autre avec de l'acide acétique, de manière à n'avoir qu'une faible réaction acide, sensible seulement au papier bleu de tournesol. L'essai continué a donné un titre exact pour l'essai où la neutralisation avait été faite avec l'acide acétique;

mais, pour celui où elle avait été opérée avec l'acide nitrique, il y a eu surcharge de 8 millièmes sur 20 de mercure qui avaient été employés. Il y a donc 12 millièmes de mercure qui auraient été retenus en dissolution, et peut-être eût-on conservé les 20 si la neutralisation eût été plus rigoureusement exacte, relativement à une aussi petite quantité de mercure.

Quoi qu'il en soit, et sans m'être attaché, faute d'un temps suffisant, à établir la véritable théorie du procédé, je me bornerai à dire, sous le point de vue pratique, qu'il ne faut pas laisser d'acide minéral libre dans la dissolution d'argent, et qu'il doit être entièrement saturé par l'acétate de soude.

Sur une macle remarquable d'argent natif de Kongsberg;

PAR M. G. ROSE.

(Extrait des *Annales de Poggendorff.*)

Les cristaux appartenant au système régulier, qui sont caractérisés par trois axes égaux et rectangulaires, ont, par suite de cette construction, la propriété de n'être pas ordinairement allongés d'une manière disproportionnée dans un seul sens, et par conséquent de n'offrir presque jamais une forme prismatique. Cependant il n'est pas rare de les trouver en cristaux maclés, et, dans ce cas comme dans certains minéraux, la règle presque générale, c'est qu'ils offrent un plus grand développement suivant une seule ligne placée dans le plan de la macle. Les cristaux réguliers des métaux natifs, comme le cuivre, l'argent, l'or et le bismuth, en fournissent des exemples; et, non-seulement ces cristaux sont allongés suivant une seule direction, mais encore ils se groupent parallèlement les uns aux autres suivant cette ligne

ou suivant une autre des lignes situées dans le plan de la macle; et lorsque les cristaux sont peu corrects, cette disposition produit les formes extérieures particulières que Werner a désignées sous les noms d'*odontiforme*, *filiforme*, *capillaire* et *flabelliforme*, ainsi que j'en ai donné un exemple dans la description du cuivre natif de Bogoslowsk. Dans le cuivre natif, l'allongement et le groupement parallèle des cristaux ont lieu suivant une seule et même ligne qui est une des diagonales du cube située dans le plan de macle, ou, ce qui revient au même, suivant une arête de l'octaèdre; sous ce rapport, l'argent diffère du cuivre, car l'allongement des cristaux d'argent a bien lieu comme pour le cuivre, suivant une arête de l'octaèdre, mais la pénétration des cristaux se fait suivant une diagonale de l'une des faces de l'octaèdre. Je ne m'arrêterai pas ici à décrire le groupement des cristaux, et je ne parlerai que d'un allongement remarquable que j'ai eu l'occasion d'observer sur un cristal d'argent de Kongsberg, que M. Descloizeaux avait eu la bonté de m'envoyer de Paris pour me montrer sa forme bizarre.

Ce cristal est une macle du système régulier, formée suivant la loi ordinaire, puisque le plan de macle est parallèle à une face de l'octaèdre. La forme des individus composant la macle est une combinaison de l'ikositétraèdre $(3a : 3a : a)$ (1) avec l'octaèdre, et son aspect particulier ne provient que de ce que le cristal maclé est allongé parallèlement à une arête de l'octaèdre, et que les faces situées autour du sommet ont disparu de manière à produire une pyramide à six faces. La *fig.* 6, *Pl. II*, représente la projection droite, et la *fig.* 8 la perspective du cristal. Les autres figures sont destinées à l'intelligence de cette forme.

---

(1) D'après la notation de M. Lévy, ce solide rapporté au cube aurait pour signe cristallographique a^2.

La *fig.* 1 représente l'ikositétraèdre en projection horizontale, le plan de projection étant perpendiculaire à l'un des trois axes rectangulaires ou axes culminants de l'octaèdre. Les angles de l'octaèdre, ceux du cube et les angles intermédiaires sont désignés par les lettres A, O et E. L'inclinaison des faces est, comme on sait :

Sur les arêtes qui joignent les angles A et E, de 144° 54';
Sur les arêtes qui joignent les angles O et E, de 129° 31'.

Le dernier angle se répète pour l'inclinaison de deux faces opposées situées à l'angle A.

La *fig.* 2 est le même solide dans la position du rhomboèdre que l'on obtient en le faisant tourner de 54°44' autour d'un axe passant par les angles intermédiaires E' de l'ikositétraèdre; le plan de projection coupe aussi à angle droit un des quatre axes angulaires du cube. L'ikositétraèdre peut ainsi être considéré comme une combinaison des deux rhomboèdres $\frac{2}{5} r$ et $4r$ qui sont du même ordre, et d'un dodécaèdre hexagonal t, d'un ordre différent (1). Les rhomboèdres sont aussi du même ordre que le cube. Si l'on part de ce solide comme forme fondamentale, et si on le désigne par

$$(a : a : \infty a : e),$$

où

$$a : c = 1 : \sqrt{\tfrac{3}{2}},$$

les signes des faces sont :

$$\text{Pour } \tfrac{2}{5} r = (\tfrac{5}{2} a : \tfrac{5}{2} a : \infty a : c),$$
$$\text{Pour } 4 r = (\tfrac{1}{4} a : \tfrac{1}{4} a : \infty a : c),$$
$$\text{Pour } t = (\tfrac{3}{2} a : \tfrac{3}{4} a : \tfrac{3}{2} a : c)$$ [2].

(1) La formation d'un dodécaèdre hexagonal par les faces t n'est qu'une propriété de l'ikolitétraèdre ($3a : 3a : a$) et une suite de l'égalité des deux angles désignés par la *fig.* 1. Les autres ikositétraèdres se subdivisent en deux rhomboèdres et un scalénoèdre.

(2) Ces formules se déduisent très-facilement des signes que Weiss a donnés autrefois pour les corps du système régulier. (*Vergl. Abhandl. der Physik klasse der Kœnigl.* Acad. der Wissensch. zu Berlin *a. d. j.* 1818 et 1819, pages 275 et 284.)

L'inclinaison sur les faces est :

Pour le rhomboèdre $\frac{8}{5}r$ sur l'axe........................ 60° 30' $\frac{1}{2}$;
Pour le rhomboèdre $4r$ sur l'axe........................ 10° 1' $\frac{1}{2}$;
Pour le dodécaèdre hexagonal t sur les arêtes culminantes. 144° 54' ;
Pour le dodécaèdre hexagonal t sur les arêtes de la base.. 117° 2'.

Ces trois solides, rapportés au cube placé comme un rhomboèdre, ont pour signe cristallographique, suivant la notation de Lévy :

$$\tfrac{8}{5}r = a^{8}, \quad 4r = c^{\frac{1}{3}} \text{ et } t = e_{8}.$$

La *fig.* 3 est la projection horizontale du cristal précédent, après que ce cristal a formé, en même temps que l'axe qui traverse les angles E', un angle de 90 degrés avec le plan passant par cet axe et par l'axe principal ; de sorte que, dans cette position, l'axe principal O'O a toute sa longueur, tandis que celui qui joint les angles E' est réduit à un point.

La *fig.* 4 est la projection horizontale du cristal maclé de cet ikositétraèdre, auquel on a ajouté les faces de l'octaèdre ; le plan de la macle est parallèle au plan de projection, le cristal supérieur ayant la même position que dans la *fig.* 2 ; les faces du rhomboèdre $4r$ du cristal supérieur sont alors contiguës aux faces du rhomboèdre $4r$ du cristal inférieur, de manière à former sur le plan de macle, qui est un hexagone régulier, trois angles saillants et trois angles rentrants de 159°57' alternant les uns avec les autres. Parmi les faces de l'octaèdre qui, dans la position du rhombèodre, paraît une combinaison du rhomboèdre $2r' = (\infty a : \frac{1}{2}a : \frac{1}{2}a : c)$ (1), c'est-à-dire du premier rhomboèdre placé aux angles du cube avec la base c, cette dernière face est parallèle au plan de la macle.

La *fig.* 5 est la projection horizontale de cette macle après qu'elle a fait une révolution semblable à celle qui a transformé la *fig.* 2 et la *fig.* 3. D'abord, deux des faces $4r$

(1) Le rhomboèdre $2r$, rapporté au cube placé comme un rhomboèdre, a pour signe cristallographique dans la notation de Lévy, c^{1} ; la face $c = a^{1}$.

qui forment un angle saillant sur le plan de macle, et deux autres qui lui sont parallèles et qui forment un angle rentrant, puis la base et deux faces des rhomboèdres $2r'$ et $\frac{2}{5}r$ de chaque cristal, prennent une position verticale et se réduisent à des lignes des autres couples des faces $4r$; deux apparaissent à l'extrémité supérieure, et deux à l'extrémité inférieure, et elles se réunissent, avec une face t, sur le sommet; des deux côtés de l'angle rentrant des faces supérieures $4r$, se voient encore deux faces $2r$.

La *fig.* 6 n'est que la macle *fig.* 4 allongée, comme elle se présente dans la nature. Les faces qui, dans la *fig.* 5, sont verticales, composent ici un prisme où manquent les faces qui se réunissaient au sommet E', tandis que celles qui se trouvent au-dessous forment la terminaison de ce prisme. Le prisme ainsi obtenu est à huit faces, et il se compose des faces $2r'$, c, $\frac{2}{5}r$ et r de l'un des cristaux, et des mêmes faces de l'autre cristal, qui se coupent suivant les angles de 129°28', 150°30'½ et 129°31'; le plan de macle passe par les deux arêtes latérales formées par la rencontre des faces $2r'$ de chaque cristal, d'un côté, et par celles des faces $4r$ de l'autre côté, et ces faces font des angles de 109°28' et de 159°57'; de sorte que le prisme octogonal a aussi des angles de quatre espèces. Le sommet est à six faces, et il est composé, dans chaque cristal, de deux faces t et d'une face du rhomboèdre $\frac{2}{5}r$ située entre les faces t du même cristal; de sorte que le plan de macle passe par les arêtes déterminées par la rencontre des faces t des deux cristaux. L'angle des arêtes bissectées par le plan de macle est de 117°2'; c'est l'angle des arêtes latérales du dodécaèdre hexagonal t; l'angle des arêtes formées par la rencontre des faces t et $\frac{2}{5}r$, qui se trouvent déjà indiquées sur la *fig.* 4, est de 144°54', et celui des arêtes formées par les faces non indiquées dans la *fig.* 4 est de 117°2'; le sommet hexagonal n'a, par conséquent, que deux espèces d'angles.

De même que le sommet hexagonal, le plan hexagonal

parallèle à une face du dodécaèdre qui coupe le sommet perpendiculairement à l'axe, n'a que des angles de deux espèces, savoir : quatre angles de 109°28′, où viennent se réunir les arêtes de 117°2′, et deux angles de 141°4′, où se joignent les arêtes de 144°54′. Cette face est indiquée par les lignes ponctuées de la *fig.* 5, et elle est encore mieux exprimée dans la *fig.* 7 par la projection horizontale du sommet.

Enfin, la *fig.* 8 montre le cristal de la *fig.* 6 en perspective, de sorte que le devant et le derrière ne se recouvrent pas.

Il est à remarquer que le cristal d'argent porte encore, parmi les faces verticales, une face du cube qui tronque légèrement et tangentiellement l'arête de 129°31′ comprise entre $\frac{2}{5}r$ et $4r$; mais je n'en ai pas fait mention dans la description.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — AVRIL 1846.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN.			MIDI.			3 HEURES DU SOIR.			9 HEURES DU SOIR.			THERMOMÈTR.		ÉTAT DU CIEL A MIDI.	VENTS à MIDI.
	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Maxim.	Minim		
1	751,88	+10,9		751,28	+14,2		750,09	+16,4		748,75	+11,0		+16,8	+ 7,0	Beau.	S.
2	745,68	+13,4		744,86	+11,8		743,44	+14,1		745,15	+ 9,8		+14,7	+ 9,2	Pluie par moments	S. S. O.
3	746,48	+ 9,8		744,31	+10,7		744,65	+12,7		748,39	+ 6,7		+12,9	+ 6,4	Éclaircies	S. O.
4	750,62	+ 8,1		748,80	+ 8,4		746,51	+13,2		744,55	+11,2		+13,0	+ 6,0	Pluie	S. S. O
5	742,29	+12,7		741,77	+15,2		740,90	+14,0		739,21	+10,8		+16,2	+ 9,5	Nuageux	O. S. O.
6	737,39	+12,9		738,00	+ 9,5		737,67	+11,8		737,10	+ 5,8		+13,1	+ 8,3	Pluie par moments	O.
7	734,11	+ 7,0		735,33	+ 7,0		735,59	+ 7,9		737,22	+ 6,1		+ 8,0	+ 4,5	Quelq. gouttes d'eau	O. S. O.
8	736,12	+ 7,2		736,44	+ 8,3		736,63	+10,1		739,98	+ 7,6		+10,0	+ 5,2	Couvert	O.
9	749,68	+ 8,5		750,93	+ 8,2		751,84	+ 9,4		754,80	+ 6,8		+ 9,3	+ 5,0	Couvert	O.
10	756,17	+11,0		755,12	+13,6		754,19	+14,5		752,64	+ 9,7		+15,0	+ 3,4	Nuageux	O.
11	747,05	+10,8		744,28	+15,9		743,97	+16,7		742,81	+12,4		+16,7	+ 8,3	Nuages	E. S. E.
12	746,72	+16,0		746,67	+18,4		747,07	+19,3		748,38	+13,2		+20,5	+ 8,5	Nuageux	S. O.
13	751,39	+13,0		751,33	+16,9		752,12	+17,0		754,08	+11,2		+18,5	+10,6	Nuageux	S.
14	748,35	+14,7		747,63	+18,3		747,12	+17,3		749,07	+10,8		+18,8	+ 8,7	Couvert	S. S. E.
15	750,03	+10,7		751,07	+11,4		751,61	+12,1		753,79	+ 8,2		+12,0	+ 8,2	Petite pluie	S. S. O.
16	756,29	+14,0		756,60	+14,6		756,76	+15,5		757,88	+11,2		+16,5	+ 7,1	Nuageux	S. S. O
17	756,50	+14,3		755,23	+17,2		754,26	+14,4		754,08	+ 9,1		+17,8	+ 8,8	Nuageux	O.
18	752,66	+ 9,8		752,38	+10,2		752,05	+10,8		753,80	+ 8,8		+11,0	+ 7,3	Couvert	O.
19	754,15	+ 8,5		754,00	+ 8,8		754,18	+10,4		756,17	+ 9,2		+10,3	+ 8,0	Pluie fine	N.
20	756,85	+ 8,5		756,44	+10,8		756,21	+ 9,9		757,23	+ 6,5		+11,9	+ 6,2	Couvert	N. O.
21	757,78	+ 7,5		757,52	+ 9,7		756,91	+10,3		757,12	+ 7,1		+10,3	+ 4,0	Couvert	N. O.
22	754,52	+10,9		754,16	+12,4		752,57	+13,4		751,91	+ 9,6		+13,8	+ 2,1	Quelques éclaircies	S. E.
23	750,47	+ 8,3		750,08	+ 9,4		749,90	+11,4		750,33	+ 7,2		+11,0	+ 6,8	Pluie	S. E.
24	752,08	+12,1		752,13	+14,7		752,20	+14,9		754,57	+ 9,7		+15,6	+ 4,9	Nuages	S. S. E.
25	755,82	+14,4		755,62	+16,4		754,61	+16,8		753,66	+11,0		+18,0	+ 5,6	Beau	S.
26	751,27	+11,1		750,64	+13,6		750,28	+12,3		751,09	+ 8,1		+13,7	+ 8,0	Très-nuageux	O. N. O.
27	753,61	+ 7,3		754,08	+ 8,6		754,65	+ 9,2		755,43	+ 6,8		+ 9,8	+ 3,5	Très-nuageux	N. N. O.
28	755,54	+ 8,1		754,69	+ 9,9		755,02	+11,2		755,35	+ 8,6		+11,9	+ 1,8	Quelques nuages	N. E.
29	759,31	+ 8,4		759,68	+10,6		760,14	+10,0		762,75	+ 8,0		+10,9	+ 5,5	Nuageux	N. E.
30	765,83	+ 9,8		765,56	+12,9		765,11	+14,0		765,68	+10,8		+14,3	+ 3,8	Nuages	N. O.
1	745,04	+10,2		744,68	+10,7		744,15	+12,4		744,78	+ 8,6		+12,9	+ 6,5	... Moy. du 1er au 10	Pluie en cent.
2	752,00	+12,0		751,56	+14,3		751,54	+14,3		752,73	+10,1		+15,4	+ 8,2	... Moy. du 11 au 20	Cour. 7 430
3	755,62	+ 9,8		745,42	+11,8		755,14	+12,4		755,79	+ 8,7		+12,9	+ 4,6	... Moy. du 21 au 30	Terr. 5,747
	750,89	+10,7		750,55	+12,3		750,28	+13,0		751,10	+ 9,1		+13,7	+ 6,4	... Moyenne du mois...... + 10°,1	

RECHERCHES

Sur la conductibilité électrique des corps solides et liquides;

PAR M. EDMOND BECQUEREL.

La conductibilité des corps pour l'électricité est une question fondamentale pour l'électrochimie, en raison de ses relations avec la constitution moléculaire des corps; aussi a-t-elle été l'objet des investigations d'un grand nombre de physiciens. Priestley est le premier qui ait tenté de déterminer le pouvoir conducteur des métaux pour l'électricité statique en faisant passer la même décharge à travers deux fils de métal différent, de même longueur et de même grosseur; il répéta l'expérience jusqu'à ce que l'un des fils fût fondu et dispersé : celui-là était le moins bon conducteur qui se fondait le plus facilement. Ce procédé était trop imparfait pour donner des résultats tant soit peu exacts. Davy voulut résoudre la question à l'aide de l'électricité voltaïque; sa méthode consistait à prendre des fils de divers métaux de même longueur et de même diamètre, et de chercher combien chacun d'eux pouvait décharger de couples voltaïques construits suivant la méthode de Wollaston. Pour s'assurer si un fil déchargeait entièrement plusieurs couples, il ajoutait deux autres fils en argent aux deux extrémités de cette pile, lesquels, venant plonger dans de l'eau rendue conductrice, indiquaient par le dégagement de gaz si toute l'électricité ne passait pas par le fil soumis à l'expérience. C'est à l'aide de ce procédé très-imparfait et soumis à une foule de causes d'erreur qu'il a établi néanmoins que les pouvoirs conducteurs *sont en raison inverse des longueurs et en raison directe des sections des fils métalliques qui conduisent l'électricité.*

Mon père, qui s'est ensuite occupé de cette question (*Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, tome XXXII,

page 420, et *Traité d'électricité et de magnétisme*, tome III, page 74), a fait usage d'un procédé sur l'exactitude duquel on pouvait compter. Afin de se mettre à l'abri des variations d'intensité du courant électrique qui ont lieu dans les piles dont on faisait alors usage, il a imaginé le galvanomètre différentiel, qui est généralement adopté aujourd'hui. Cet appareil est un multiplicateur ordinaire sur le cadre duquel sont enroulés deux fils métalliques de même longueur, de sorte que l'on peut faire passer en même temps deux courants en sens inverse, qui, agissant simultanément sur l'aiguille aimantée, la maintiennent au zéro lorsqu'ils sont égaux. On peut donc, en allongeant ou raccourcissant les fils qui se trouvent dans les circuits, et ramenant toujours l'aiguille au zéro, juger quelles sont les longueurs des fils métalliques qui sont équivalentes en conductibilité. Il a vérifié, à l'aide de ce procédé, la loi de la conductibilité énoncée plus haut, et qui n'avait pu être démontrée rigoureusement par la méthode défectueuse de Davy.

Cette loi fondamentale montre que l'électricité voltaïque se transmet de molécule à molécule dans l'intérieur des fils, et non pas suivant leur surface.

Mon père a aussi indiqué, dans le Mémoire déjà cité, un procédé pour se rendre indépendant de la perte d'électricité qui a lieu au passage d'un métal dans un autre métal, puis a donné un tableau des pouvoirs conducteurs des différents métaux. Ce tableau est le suivant :

	Pouvoirs conducteurs.
Cuivre	100,00
Or	93,60
Argent	73,60
Zinc	28,50
Platine	16,40
Fer	15,80
Étain	15,50
Plomb	8,30
Mercure	3,45
Potassium	1,33

Plusieurs physiciens se sont occupés, depuis cette époque, de la détermination des pouvoirs conducteurs, en faisant usage de diverses méthodes fondées soit sur le même principe, soit sur les effets d'induction ou les effets de chaleur observés lors du passage des courants électriques; il serait trop long de les décrire tous. Je ne parlerai que des résultats obtenus par M. Pouillet, à l'aide de la boussole ou du galvanomètre différentiel dont il vient d'être question, et en faisant usage de deux couples thermo-électriques égaux :

	Pouvoirs conducteurs d'après M. Pouillet.
Palladium	5791
Argent (963 de fin)	5152
Argent (900 de fin)	4753
Argent (857 de fin)	4221
Argent (747 de fin)	3882
Or pur	3975
Or (951 de fin)	1338
Or (751 de fin)	714
Cuivre pur	3838
Cuivre recuit	3842
Platine	855
Laiton	200 900
Acier fondu	800 500
Fer	700 600
Mercure distillé	100

On peut voir, d'après l'inspection de ce tableau, que la présence des matières étrangères altère singulièrement la conductibilité, et que, dans le cuivre, l'écrouissage a pour effet de diminuer le pouvoir conducteur dans le rapport de 1 à 1,001.

La perte d'électricité, au changement de conducteur, n'est pas la seule cause de perturbation dans la détermination des conductibilités; il en est une autre qui a aussi une très-grande influence : je veux parler de la température des fils. On sait, en effet, depuis longtemps que l'élévation de

température diminue le pouvoir conducteur des métaux, de telle sorte que, si cette diminution n'est pas la même pour tous les métaux, les rapports de conductibilité doivent varier avec la température.

Le but que je me suis proposé dans ce travail n'a pas été précisément de reprendre la détermination des conductibilités électriques, sujet qui a été traité, comme on l'a vu, par de si habiles expérimentateurs, mais bien d'examiner avec soin l'action de la chaleur sur le pouvoir conducteur des corps pour l'électricité, en évitant la résistance au passage d'un corps dans un autre.

Je me suis occupé aussi de la même question à l'égard des liquides décomposables; mais, dans ce cas, elle devient beaucoup plus complexe. En effet, la conductibilité varie avec la concentration de la dissolution; la résistance, au passage de l'électricité, des lames métalliques dans les liquides, due en partie à la polarisation des électrodes, c'est-à-dire au dépôt des matières transportées sur les lames par l'action décomposante du courant, est beaucoup plus considérable que lorsqu'il ne s'agit que des fils, et se trouve un élément de la grandeur même de la conductibilité du fluide; enfin, la chaleur agit beaucoup plus fortement qu'à l'égard des métaux et en sens inverse, puisque l'élévation de température augmente le pouvoir conducteur au lieu de le diminuer. Il existe cependant, suivant M. Faraday, un corps qui fait exception à la règle établie pour les métaux : c'est le sulfure d'argent, dont le pouvoir conducteur augmente avec l'élévation de température, et de mauvais conducteur à la température ordinaire devient meilleur conducteur à mesure qu'on le chauffe. Si le fait était bien constaté, ce serait la seule exception, connue actuellement, d'un corps solide se comportant comme un liquide.

Des métaux à la température ordinaire.

Le procédé dont j'ai fait usage pour déterminer les pouvoirs conducteurs revient à peu près à celui de mon père, seulement j'y ai apporté des modifications qui, je crois, mettent les résultats à l'abri de toute cause d'erreur. Voici la description des appareils employés lorsqu'on opère avec les métaux à la température ordinaire.

Le galvanomètre dont je me suis servi est un galvanomètre différentiel à deux fils, *fig.* 1, *Pl. II,* placé sur une planche SS' scellée dans un mur; on peut, par ce moyen, s'en approcher sans troubler l'équilibre de l'aiguille. Les deux fils ont chacun 3 mètres de longueur et 1 millimètre de diamètre; ils sont entourés de soie, puis séparés, en outre, dans toute leur longueur par un ruban de même étoffe et tournés l'un autour de l'autre, de façon à faire un cordon bien serré; le cordon est enroulé autour du cadre HH' du multiplicateur et forme dix tours, puis vient ressortir au-dessous de la cage en verre LL' en se divisant en quatre bouts que l'on peut attacher à d'autres fils. On a tourné les fils autour l'un de l'autre, afin que, si deux courants égaux passent en sens inverse dans le galvanomètre, leur action soit la même et que l'aiguille reste au zéro. Cette précaution indispensable a été indiquée par M. Poggendorff (*Archives d'électricité;* Genève; tome V); elle remplit le but qu'on se propose : car, lorsqu'un courant provenant d'un seul couple est divisé en deux, comme nous le verrons plus loin, et que l'aiguille est amenée au zéro, elle y persiste sans aucun dérangement.

L'aiguille du galvanomètre est un petit barreau de 5 centimètres de long et de 2 millimètres de diamètre, en acier trempé, et aimantée à saturation, puis suspendue à un fil de soie dans la cage en verre. Une aiguille *ii'*, formée d'une paille terminée par une pointe métallique, d'une longueur de 2 décimètres à partir du centre, et liée au barreau ai-

manté par un fil de cuivre, sert à indiquer la marche de celui-ci sur une portion de cadran attaché au cadre HH'.

Sur une table TT' se trouvent disposés tous les autres appareils; c'est d'abord un couple FF' de 15 centimètres de hauteur sur 10 de diamètre, formé d'un cylindre de zinc amalgamé plongeant dans de l'eau saturée de chlorure de sodium, et d'un cylindre creux en cuivre plongeant dans du sulfate de même métal; les deux solutions étant séparées par un diaphragme poreux en porcelaine dégourdie.

A côté est placé l'appareil à deux cylindres de M. Wheatstone, décrit dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome X, page 257. Cet appareil est d'un usage très-facile et permet d'introduire dans un circuit une longueur déterminée d'un fil conducteur. Il se compose d'un cylindre E en métal, de 18 centimètres de longueur et de 75 millimètres de diamètre. Sur ce cylindre est tracée une hélice, dans les spires de laquelle un fil de laiton est enroulé. Un autre cylindre en bois, exactement semblable, sert à dérouler le fil conducteur. Les deux cylindres sont mis en rotation à l'aide de deux roues dentées qui s'engrènent dans une troisième, laquelle elle-même tourne au moyen d'une manivelle M. Il faut trente-six tours de M pour produire un tour de E ou de E', et en tournant M dans un sens ou dans un autre, on peut enrouler ou dérouler le fil de laiton de dessus le cylindre en bois. E communique avec la pince D, et l'extrémité du fil métallique enroulé est attachée à un anneau sur lequel vient frotter un fil communiquant avec D', de telle sorte que, si l'on attache les deux bouts d'un circuit à D et à D', on peut, en tournant la manivelle, introduire dans le circuit une longueur déterminée de fil conducteur. Sur la roue dentée, attachée à M', sont tracées cent huit divisions, et une petite pointe en cuivre fixe *m* indique de combien le cylindre a tourné. On peut estimer le dixième de chaque division, de telle sorte que la circonférence d'une des spires des hélices étant de

236 millimètres, on peut estimer l'allongement ou la diminution du circuit à $\frac{1}{1080}$ de 236 millimètres, ou bien à $0^{mm},2$ près. L'appareil de M. Wheatstone est, je le répète, d'un usage très-commode.

Enfin, le fil métallique dont on veut trouver le pouvoir conducteur est tendu entre deux pinces A, A′ en cuivre, attachées à deux montants R, R′ fixés sur la table; la longueur AA′ est de $1^m,50$. Entre A et A′ se trouve une règle divisée *ab* en cuivre rouge massif de 1 centimètre d'épaisseur, de 3 centimètres de hauteur et de $1^m,40$ de longueur. Cette règle est fixée solidement à la même table, parallèlement à AA′, et à ses pieds sont attachés trois fils de cuivre *po*, *p′o*, *p″o*, qui se réunissent en O. Sur la règle divisée glisse à frottement un montant en cuivre *c*C, et, à l'aide d'une vis, on peut l'arrêter dans une position déterminée. L'extrémité C est formée d'une pince épaisse de 1 millimètre qui peut pincer le fil AA′ en un point quelconque, de sorte qu'en promenant *c*C entre *a* et *b*, on peut estimer une longueur quelconque AC de fil métallique, avec une grande exactitude; si l'on attache un fil à A, et un autre à O, on peut négliger la conductibilité de la règle *ab* par rapport à celle du fil, et l'on voit que l'on peut introduire une longueur quelconque du fil AA′ dans le circuit, en faisant glisser *c*C sur *ab*, arrêtant ce montant à une place quelconque, et pinçant l'extrémité C.

Les appareils étant décrits, voici la manière d'opérer : On divise le courant du couple F en deux portions que l'on fait passer en sens inverse dans les deux fils du galvanomètre; mais, dans le premier circuit, on introduit le fil AC, en joignant A à N, et O au cuivre du couple, puis on introduit l'appareil de M. Wheatstone dans le deuxième; on a donc deux circuits qui, étant égaux en conductibilité, donnent la même intensité de courant, et, par conséquent, maintiennent l'aiguille au zéro.

En général, on n'arrive pas immédiatement à cette éga-

lité ; lorsque l'on commence l'expérience en mettant deux ou trois tours de fil sur la roue en bois E′, il faut tourner de quelques divisions ou à droite ou à gauche.

Lorsqu'on a amené l'aiguille à zéro, les communications étant bien établies, quand on n'emploie qu'un seul couple ou un courant faible, elle y persiste aussi longtemps que l'on veut, et sans perturbation. Mais vient-on à tourner E′ d'une division de la roue dentée ou de 2 millimètres, alors l'aiguille *ii′* est chassée de plusieurs divisions dans le sens du courant qui domine ; on voit que cet instrument est d'une grande sensibilité. Revenons à l'état d'équilibre. Si l'on éloigne alors C*c* le long de la règle *ab*, on introduit dans le premier circuit une longueur de fil indiquée par la course de C sur *ab*, alors l'aiguille *ii′* est déplacée du zéro ; on tourne la manivelle jusqu'à ce que l'aiguille soit revenue à ce point, et la quantité de divisions dont on a tourné indique exactement combien la partie du fil d'épreuve AC, que l'on a introduite dans le premier circuit, équivaut, en longueur, à une partie du fil étalon EE′, et cela indépendamment de toute résistance au passage d'un corps à un autre ; car les communications sont toujours les mêmes, et l'on ne fait qu'allonger, dans les circuits, les fils métalliques que l'on veut comparer entre eux.

Il faut avoir soin, lorsque le courant passe, de laisser l'action continuer pendant quelque temps, afin que l'équilibre de température s'établisse dans tout le système ; on prend note de cette température. Dans toutes nos expériences sur les fils, elle est toujours restée constante entre 12 et 13 degrés.

Il ne faut tendre le fil AA′ que de ce qui est nécessaire pour le rendre droit et parallèle à *ab*. Lorsque son poids ou sa nature fait que ce parallélisme n'a pas lieu, on met le long de AA′ une suite de supports ou de planchettes qui maintiennent ce fil parallèle à *ab*, puis on les enlève un à un quand on fait glisser C*c*, et on les replace immédiatement après son passage.

L'appareil lui-même donne donc les longueurs du fil soumis à l'expérience; quant aux diamètres, je les ai déterminés directement à l'aide d'un instrument imaginé par M. Lebaillif, lequel consiste en deux lames de verre glissant l'une sur l'autre, dont l'une contient un micromètre divisé en 200[e] de millimètre, et l'autre des traits parallèles à ces divisions. La première lame repose sur une plaque de bois qui peut se placer sur le porte-objet du microscope, et la seconde sur une autre plaque qui repose sur la première. A cette seconde plaque est attaché un fil de cuivre qui vient buter contre une pointe de vis également en cuivre, de telle sorte que si l'on tourne cette vis jusqu'à ce qu'un des traits du verre supérieur corresponde au zéro du micromètre, en interposant un fil dont on veut déterminer le diamètre entre le fil fixe et la vis, on lit immédiatement, à l'aide du microscope, de combien a avancé le trait, et par conséquent la valeur du diamètre du fil. La détermination se fait à $\frac{1}{4}$ de 200[e] de millimètre ou $\frac{1}{800}$ de millimètre.

Quand on fait usage de cet appareil, on reconnaît que les fils qui sortent des filières ne sont pas du tout ronds. Il y a des différences entre les diamètres qui vont jusqu'à $\frac{2}{100}$ de millimètre. Bien plus : deux fils de métaux différents, qui sortent d'un même trou de filière, n'ont pas le même diamètre moyen, et les différences sont d'autant plus grandes que les métaux diffèrent plus par leur élasticité. Ainsi, en tirant par un même trou des fils de fer, d'or et de plomb, le fil de fer aura un plus gros diamètre que le fil d'or, et celui-ci à son tour sera plus gros que le fil de plomb. L'appareil peut servir à déterminer le diamètre moyen de chaque fil. Il suffit de couper des morceaux de ce dernier, et de les enchâsser à l'extrémité d'un petit parallélipipède de cuivre qui repose sur la planche du micromètre, de telle sorte que ce fil coupé soit au niveau du fil et de la vis de cuivre entre lesquels il doit être placé. Alors on détermine les deux diamètres à angle droit de chaque section du fil qui est pincé,

en tournant le parallélipipède sur les quatre côtés. On prend la moyenne et on a le diamètre moyen de la section.

On trouve ainsi que les moyennes des différentes sections sont très-peu différentes l'une de l'autre; à peine si les écarts extrêmes sont de $\frac{1}{200}$ de millimètre : en prenant vingt déterminations pour différents points, on a un nombre qui exprime le diamètre moyen du fil.

Ces précautions une fois indiquées et les appareils décrits, nous allons rapporter les résultats de nos observations.

Il est facile d'abord de constater, à l'aide de ce procédé, l'exactitude de la loi observée pour la première fois par M. Davy, et vérifiée par tous les physiciens qui se sont occupés de cette question, savoir : que le pouvoir conducteur *est en raison inverse de la longueur, et directe de la section du fil métallique*. Je dois auparavant rappeler que je nommerai *équivalent de résistance* le nombre de divisions dont la roue E de l'appareil de M. Wheatstone aura été tournée, pour donner lieu au même effet que 1 mètre du fil soumis à l'expérience. Le pouvoir conducteur sera un nombre inversement proportionnel à cette résistance.

Expérience faite avec un fil de fer du commerce, d'un diamètre de $0^{mm},3223$ *tendu entre les pinces* A,A'. *Température,* 12°,50. (*Chaque tour des cylindres* E,E' *équivaut à* 108 *divisions de la roue dentée.*)

POSITION de la pince *Cc* sur la règle divisée.	DIVISION DE LA ROUE DENTÉE marquée par l'index pour que l'aiguille du galvanomètre soit au zéro.	DIVISIONS de la roue dentée, ou longueurs du fil étalon.	RAPPORT du nombre de divisions aux longueurs du fil.
centimètres.			
0	94,4 = 94,4	"	"
20	2 fois 108 + 41,0 = 257,0	162,6	8,13
40	3 fois 108 + 95,6 = 419,6	325,2	8,13
60	5 fois 108 + 39,4 = 579,4	485,0	8,08
80	6 fois 108 + 89,7 = 737,7	643,3	8,04
100	8 fois 108 + 36,0 = 900,0	805,6	8,06

Les différences entre les nombres de la première colonne

indiquent les longueurs du fil de fer soumis à l'expérience, tandis que les différences entre les nombres de la deuxième donnent les longueurs du fil étalon qui sont équivalentes en conductibilité aux longueurs exprimées en fonction des divisions de la roue E. Les nombres de la quatrième colonne, qui sont les rapports entre ceux de la troisième et de la deuxième, montrent donc que les conductibilités sont proportionnelles aux longueurs.

Pour voir si la loi des diamètres se vérifie de même et avec rigueur, j'ai tiré à la filière deux fils de fer à l'aide d'un même fer très-doux et assez pur. J'ai obtenu deux fils dont le premier avait pour diamètre moyen mesuré avec soin $0^{mm},7370$, et le second $0^{mm},3037$.

La température extérieure étant $12^{\circ},75$, et les fils étant écrouis tels qu'ils sortent de la filière, on les a successivement tendus entre A et A'.

Le premier a donné :

Divisions de la règle *ab*.	Divisions de la roue dentée.
centim.	
0...........	69,2 = 69,2
100...........	2,108 + 11,3 = 227,3
0...........	69,8 = 69,8
100...........	2,108 + 11,3 = 227,3

On recommence deux fois la même opération afin de ne pas se tromper et de prendre la moyenne entre les deux déterminations. On voit donc que l'équivalent de résistance pour 1 mètre est 227,3 — 69,5 = 157,8, résistance exprimée en divisions de la roue dentée.

Le second fil a donné :

Divisions de la règle *ab*.	Divisions de la roue dentée.
centim.	
0..........	98,0 = 98,0
100..........	9,108 + 54,5 = 1026,5
0..........	97,8 = 97,2
100..........	9,108 + 54,4 = 1026,4

L'équivalent de résistance est donc

$$1026,45 - 97,8 = 928,65.$$

On a donc, en résumé,

Résistances.	Diamètres.	Carré des diamètres.	Produit des carrés des diamètres par les résistances.
157,8	0,7370	0,5432	85,717
928,65	0,3037	0,0922	85,622

et les résistances sont proportionnelles aux carrés des diamètres ou aux sections.

Je me bornerai à rapporter ces deux expériences, faites pour montrer l'exactitude de la méthode.

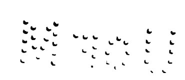
Passons aux résultats obtenus avec les différents métaux. Les fils de quelques-uns, tels qu'ils sortent de la filière, sont écrouis : ce sont, par exemple, les fils de fer, de platine, d'or, d'argent, etc.; d'autres, comme le plomb et l'étain, ne le sont pas sensiblement : la conductibilité des fils recuits pouvant être différente de celle des mêmes fils écrouis, comme l'a montré M. Pouillet pour le cuivre, il faut pouvoir déterminer avec soin la différence d'action. Rien n'est plus facile lorsqu'il s'agit des métaux dont je viens de parler. Il suffit, en effet, de les tendre entre A et A′, mais de manière à ce que la tension ne produise pas un allongement sensible ; puis, après avoir examiné quelle est la position de la roue E′ qui ramène l'aiguille du galvanomètre à o, on chauffe le fil jusqu'au rouge à l'aide d'une lampe à alcool, sans déranger AA′ de sa position. Pendant tout le temps que l'on chauffe le fil, on voit l'aiguille du galvanomètre se déplacer du zéro et indiquer que la conductibilité est diminuée par l'élévation de température ; mais est-elle revenue la même que celle de l'air ambiant, aussitôt l'aiguille du galvanomètre est chassée d'un autre côté, et indique une augmentation du pouvoir conducteur. Il faut alors détourner la roue E′ de quelques divisions pour la ramener à zéro.

Pendant toutes ces expériences, la température de la pièce dans laquelle on a opéré a été constamment de 12 à 13 degrés, et en général 12°,75 ; on peut admettre 12°,75 comme ayant été la température moyenne.

En résumant en un tableau les résultats obtenus, on a, pour les moyennes de plusieurs expériences :

SUBSTANCES.	DIAMÈTRE des fils.	RÉSISTANCE de 1 mètre du fil à 12°,75 centigrades.		RÉSISTANCES rapportées au diamètre 0mm,300.		POUVOIRS conducteurs des métaux		RAPPORT de la conductibilité du métal recuit et du métal écroui.
		Le fil étant écroui tel qu'il sort de la filière.	Le fil ayant été recuit au rouge.	Écroui.	Recuit.	écrouis tels qu'ils sortent de la filière.	recuits.	
Argent pur (réduit du chlorure).	mm 0,3203	108,35	101,25	123,509	115,416	93,448	100,000	1,0701
Cuivre pur (précipité électrochimiquement, puis fondu).	0,3218	112,6	109,7	129,559	126,222	89,084	91,439	1,0264
Or pur.....	0,2970	182,9	179,9	179,260	176,320	64,385	65,458	1,0166
Cadmium..	0,2875	511,4	"	469,67	"	24,574	"	"
Zinc.......	0,3019	476,2	"	480,66	"	"	"	"
	0,7390	78,2	"	474,62	"	"	"	"
	Moyenne...........			477,64	"	24,164	"	"
Étain......	0,6985	155,9	"	845,14	"	13,656	"	"
Palladium..	0,225	1468,0	"	825,75	"	13,977	"	"
Fer........	0,3037	928,6	"	951,638	"	"	"	"
	0,737	157,8	"	952,323	"	"	"	"
	Moyenne............			951,98	942,46	12,124	12,246	1,0101
Plomb.....	0,687	269,8	"	1414,858	"	"	"	"
	0,858	169,3	"	1383,89	"	"	"	"
	Moyenne............			1399,88	"	8,245	"	"
Platine....	0,3126	1321,8	1304,8	1435,158	1416,7	8,042	8,147	1,0130
Mercure (*) (températ., 14°)	0,734	1070,66	"	6405,76	"	1,8017	"	"

(*) Le mercure a été placé dans des tubes de verre bien calibrés.



On a déterminé les nombres de la septième et de la huitième colonne, en les rapportant à l'argent, et remarquant que les pouvoirs conducteurs sont inverses des résistances, c'est-à-dire que pour un même fil leur produit reste constant. On ne trouve aucune propriété physique qui puisse être comparée au pouvoir conducteur des métaux pour l'électricité, et donner lieu au même classement. On peut seulement remarquer que l'argent, le cuivre, l'or, qui sont les meilleurs conducteurs pour l'électricité, sont aussi les meilleurs conducteurs pour la chaleur, et le zinc et le cadmium, qui se ressemblent par leurs propriétés chimiques, ont même pouvoir conducteur.

II. — *Du pouvoir conducteur des métaux à des températures différentes.*

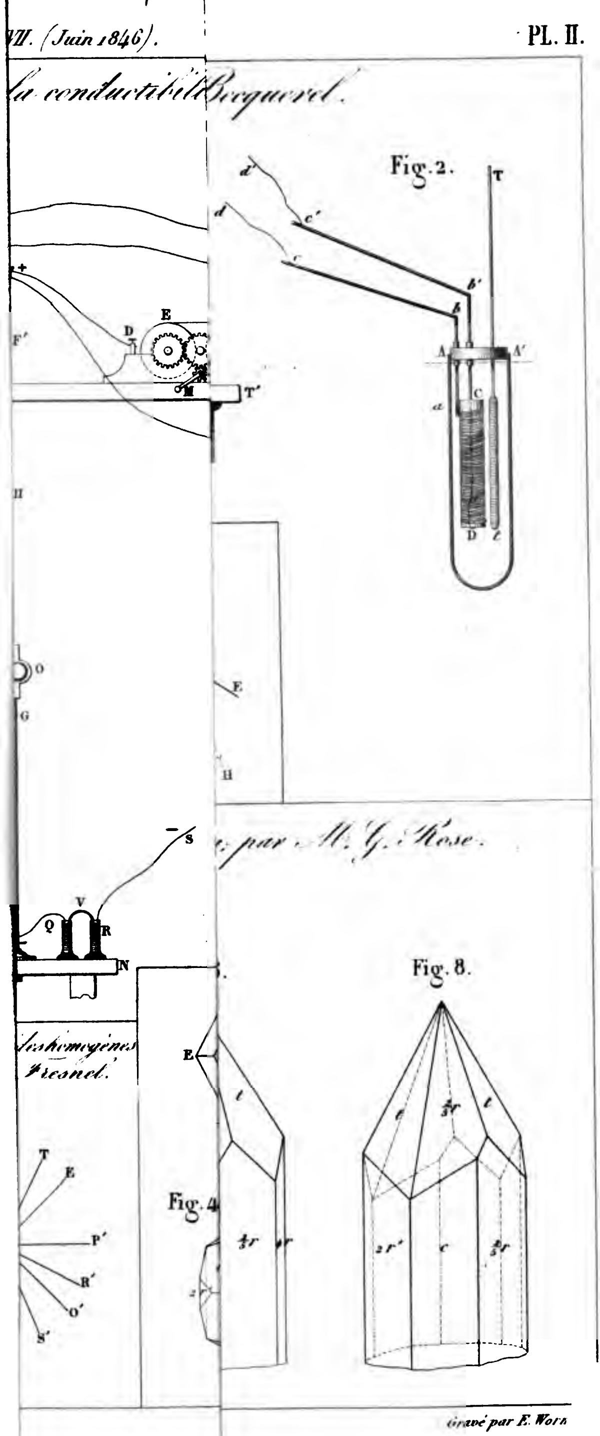
Il était important de rechercher pour les différents métaux de combien la résistance à la conductibilité augmente à mesure que l'on élève la température, si cette augmentation est proportionnelle aux accroissements de température, et dans ce cas de déterminer ce qu'on peut appeler le coefficient d'augmentation de résistance ou de diminution de conductibilité.

Pour cela, on opère comme il suit : on met le fil métallique sur lequel on veut opérer autour d'un tube CD, *fig.* 2, de 5 à 6 centimètres de long sur 1 centimètre de diamètre, de façon à former une hélice dont les circonvolutions ne se touchent pas. Si le fil n'a que 1 mètre de longueur, on ne forme qu'une hélice ; s'il en a plusieurs, on recouvre la première avec de la soie et l'on en fait une autre par-dessus, puis on attache les fils avec de la soie, afin que ces hélices ne se défassent pas. Cela fait, on attache solidement les deux extrémités de ce fil à deux tiges de cuivre rouge *abc*, *a'b'c'* de 3 millimètres de diamètre, dont on peut négliger la conductibilité par rapport au fil enroulé. Afin que la communication soit bien établie entre le fil et

les tiges *abc*, *a'b'c'*, on juxtapose 1 centimètre d'une des extrémités du fil et d'une de ces tiges, et l'on enroule leur ensemble avec un fil de cuivre fin qui ne laisse aucun interstice. Une de ces tiges est attachée à côté du tube CD, l'autre passe dans son intérieur. Ce tube, ainsi enroulé, est placé dans une petite éprouvette ABA', comme le représente la *fig.* 2, et qui est pleine d'huile. Les deux tiges *abc*, *a'b'c'* traversent deux petits tubes placés dans un bouchon AA', et soutiennent CD au milieu de l'huile; puis un thermomètre T*t*, dont le réservoir est de même longueur que CD, indique la température de l'huile, et par conséquent du fil enroulé.

Cette petite éprouvette AB est placée dans un vase plein d'eau, les deux tiges *abc*, *a'b'c'* sont recourbées au-dessus du vase et vont s'attacher à des fils *cd*, *c'd'* que l'on peut mettre dans un circuit voltaïque quelconque. A l'aide d'un écran, on empêche l'élévation de température de se communiquer aux fils placés à gauche de AB.

On voit, d'après cela, que l'huile chauffée au bain-marie élève la température du fil métallique depuis la température ambiante jusqu'à une température voisine de celle de l'ébullition de l'eau; un petit agitateur permet de mêler les couches d'huile, et au bout d'une heure ou deux de l'ébullition de l'eau, on atteint une température fixe qui est la même dans tous les points de l'huile. Avant de commencer l'expérience, on a cherché à la température ambiante, à l'aide de l'appareil *fig.* 1, quelle est la valeur de la résistance de 1 mètre du fil par rapport aux degrés de la roue E, et connaissant la longueur du fil mis autour de CD, *fig.* 2, on a sa résistance à la conductibilité. Comme le pouvoir conducteur du fil est plusieurs centaines de fois moins considérable que celui des tiges *abc*, *a'b'c'*, on peut négliger la faible diminution de conductibilité que produit l'élévation de température, sur les portions des tiges métalliques soumises à l'action de la chaleur. On voit que, par ce procédé,


la conductibil
Becquerel.
Fig. 2.
par M. G. Rose.
Fig. 8.
Fig. 4
Fresnel.
Gravé par E. Worm

en introduisant le circuit *dcba a'b'c'd'* à la place du fil AC de l'appareil *fig.* 1, il faudra tourner la roue E ou dans un sens ou dans un autre pour amener l'aiguille du galvanomètre à zéro; mais si, cela fait, on élève la température de AA'B, *fig.* 2, et que la résistance du fil enroulé autour de CD augmente par suite de cette élévation de température, l'aiguille du galvanomètre se déviera, et le nombre de tours dont il faudra tourner E pour la ramener à zéro indiquera l'augmentation de résistance, et cette augmentation pourra être rapportée à la résistance du fil connue par une expérience préliminaire.

Avant tout, il faut s'assurer que les points de jonction du fil enroulé autour de CD et des tiges n'ont aucune influence sur les résultats. A cet effet, j'ai formé une hélice en fil de fer dont les deux bouts ressortaient du bain d'huile AB, et venaient dans des tubes pleins d'eau afin de maintenir leur température au même degré que celle de l'air ambiant. J'ai trouvé, par ce procédé, à peu près le même nombre qu'en plaçant les points de jonction dans l'intérieur de AB, comme précédemment; mais il est une cause d'erreur qui n'existe pas dans ce dernier mode d'opérer: c'est qu'il y a toujours une portion du fil située entre AB et la planche qui est inégalement échauffée. En employant des tiges *abc*, *a'b'c'* dont la résistance peut être négligée devant celle du fil enroulé, on s'en garantit complétement, et, de plus, la résistance au passage des deux métaux s'anéantit complétement devant la valeur de la résistance du fil soumis à l'expérience.

J'ai voulu comparer aussi les augmentations de résistance à mesure que la température s'élève, ou les diminutions à mesure qu'elle s'abaisse, pour voir si les augmentations de résistance sont proportionnelles aux degrés thermométriques. Mais on ne peut plus être assuré que, pendant le refroidissement de la masse d'huile, tous les points soient à la même température. On doit donc trouver une différence

entre les températures calculées et les températures observées, différence qui est d'autant plus grande que le refroidissement est plus rapide. C'est, en effet, ce qui ressort des résultats que je consigne ici comme exemples. On a fait une expérience avec un fil de fer enroulé en hélice de $1^m,22$ de long, ayant, à $12°,75$, une résistance de 982,8. Il était attaché à deux tiges *abc*, *a'b'c'*, dont les points d'attache plongeaient dans l'huile.

Après $1\frac{1}{2}$ heure, la température était fixe à 98 degrés. On a éteint la lampe et l'on a noté, pendant le refroidissement, les températures et les divisions de la roue E qui ramenaient l'aiguille du galvanomètre au zéro; on a eu:

TEMPÉRATURES OBSERVÉES.	DEGRÉS DE LA ROUE E lorsque l'aiguille du galvanomètre est à zéro.	TEMPÉRATURES calculées.	DIFFÉRENCE.
Fixe à 98°,0.....	3.108 + 72,0 = 396,0	98°,00	"
Pendant le refroidissem.			
77°,0.............	2.108 + 82,0 = 298,0	74,70	— 2,3
55,0.............	108 + 98,5 = 206,5	52,94	— 2,06
34,4.............	108 + 12,0 = 120,0	32,40	— 2,00
22,7.............	77,4 = 77,4	22,27	— 0,43
Après 7 heures de refroidissement.			
18°,0............	59,4 = 59,4	18,00	"

On peut admettre pour le refroidissement moyen, pour 1 degré, $\frac{396 - 59,4}{98 - 18}$ ou 4,2075, c'est-à-dire que, pour chaque élévation de température de 1 degré, la résistance du fil augmente d'une quantité marquée par 4,2075 divisions de la roue E. En partant de ce nombre moyen 4,2075 pour calculer les températures intermédiaires, on a les nombres de la quatrième colonne.

On voit que vers les températures extrêmes les différences entre les températures calculées et les températures observées sont peu de chose; mais, quand le refroidissement est

rapide, la différence est très-grande. Cela tient, je le répète, à ce que tous les points de la masse ne sont pas au même instant à la même température. Ce qui tend à faire admettre que la diminution de conductibilité par abaissement de température est proportionnelle à cet abaissement, c'est que si l'on considère les résistances pour les températures intermédiaires, lorsque la différence est la plus considérable, on a

$$\frac{298 - 206,5}{77 - 55} = 4,16, \qquad \frac{206,5 - 120}{55 - 34,4} = 4,19.$$

La diminution pour 1 degré est sensiblement la même.

Les résultats suivants, obtenus avec un autre fil de fer, conduisent aux mêmes conclusions.

TEMPÉRATURES observées.	TEMPÉRATURES calculées.	DIFFÉRENCES.	DEGRÉS DE LA ROUE DENTÉE quand l'aiguille du galvanomètre est à zéro.
Fixe à 97°,8	97°,80	0°,00	3,108 + 74,0 = 398,0
La températ. baissant.			
89°,50	89,40	— 0,10	3,108 + 36,0 = 360,0
86,50	85,20	— 1,30	3,108 + 17,0 = 341,0
86,00	84,75	— 1,25	3,108 + 15,0 = 339,0
85,00	83,87	— 1,13	3,108 + 11,3 = 335,3
78,50	74,58	— 3,92	2,108 + 77,0 = 293,0
74,00	70,30	— 3,70	2,108 + 57,5 = 273,5
70,00	65,90	— 4,10	2,108 + 37,6 = 253,6
65,00	60,80	— 4,20	2,108 + 14,6 = 230,6
59,00	55,80	— 3,20	108 + 99,6 = 207,6
58,00	55,00	— 3,00	108 + 96,4 = 204,4
54,50	51,64	— 2,86	108 + 81,5 = 189,5
50,00	47,40	— 2,60	108 + 62,0 = 170,0
36,60	34,75	— 1,85	108 + 5,0 = 113,0
24,00	23,63	— 0,37	62,7 = 62,7
23,00	22,70	— 0,30	58,5 = 58,5
18,10	18,54	+ 0,44	39,7 = 39,7
15,00	15,00	"	23,7 = 23,7

17.

On a calculé les températures de la deuxième colonne, en admettant que l'augmentation moyenne de résistance pour 1 degré soit $\frac{398,0 - 23,7}{97^{\circ},8 - 15^{\circ}} = \overset{\text{divisions.}}{4,5205}$.

On peut faire les mêmes remarques que pour les résultats précédents. Les différences entre les résultats successifs, pris lors du plus grand refroidissement, sont sensiblement les mêmes; ainsi

$$\frac{293 - 273,5}{78,5 - 74} = 4,33, \qquad \frac{253,6 - 230,6}{70 - 65} = 4,60,$$

$$\frac{189,5 - 170}{54,5 - 50} = 4,33, \qquad \frac{62,7 - 58,5}{24 - 23} = 4,2.$$

Si l'on pouvait donc maintenir les températures fixes, on aurait probablement des augmentations ou des diminutions proportionnelles aux degrés de températures; du reste, nous allons voir qu'en admettant ce principe, on obtient des nombres qui sont les mêmes pour divers fils de même substance.

Argent pur.

Fil A.—Premier fil recuit au rouge: diamètre, $0^{mm},3203$; résistance pour 1 mètre, mesurée à l'aide de la roue E, 101,25. A la température de $12^{\circ},75$ centigrades, la longueur totale du fil d'argent qui entoure CD, *fig.* 2, est $1^{m},1675$; un centimètre à chaque bout est destiné à l'attacher aux deux tiges de cuivre *ab*, *a'b'* de 2 millimètres de diamètre, de sorte que la longueur du fil d'argent est de

$$1^{m},1675 - 0,02 = 1^{m},1475,$$

et sa résistance est 116,184 à $12^{\circ},75$.

La spirale a séjourné pendant la nuit dans l'huile; la température, le lendemain, s'est trouvée $11^{\circ},30$, le courant d'un couple passant toujours dans le fil, afin que l'équilibre de température entre l'huile et le fil, échauffé très-faiblement il est vrai, s'établisse.

La division de la roue E, *fig.* 1, qui correspondait à la position du zéro de l'aiguille du galvanomètre, était 7,1. Pendant une heure, les choses sont restées dans cet état, rien ne venant à varier. Mais du moment qu'on a échauffé AB, *fig.* 2, l'aiguille du galvanomètre a été déviée, le fil devenant moins bon conducteur, et au bout de deux heures la température s'est maintenue fixe à 96°,80; alors, pour ramener l'aiguille du galvanomètre à zéro et l'y maintenir, on a tourné la roue E jusqu'à la division 45,1.

L'augmentation de résistance est donc $45,1 - 7,1 = 38,0$, en passant de 11°,3, à 96°,80, ou pour une différence de 85°,5; pour 1 degré elle aurait été $\frac{38}{85,5} = 0,4444$.

Cherchons le rapport de l'augmentation de résistance pour 1 degré d'élévation de température, à la résistance de ce même fil à zéro. Comme la résistance de ce fil à 12°,75 est 116,184, à 0 degré, elle serait

$$116,184 - 12°,75 . 0,4444 = 110,618,$$

et ce rapport est

$$\frac{0,4444}{110,518} = 0,004021;$$

c'est ce qu'on peut appeler le coefficient d'augmentation de résistance du fil d'argent pour 1 degré de température; pour 100 degrés, ce serait 0,4021. On a recommencé l'expérience avec un autre fil d'argent.

Fil d'argent B, plus fin que le précédent. — Argent pur recuit aussi au rouge; résistance pour 1 mètre à la température de 12°,75 = 180,40; longueur du fil autour de CD, entre les extrémités *a* et *a'*, 1^m,035; sa résistance, à 12°,25, est donc 186,71.

Afin d'abréger les calculs exécutés par la méthode précédente, je me bornerai à les mettre en tableau.

Première expérience.

Températures fixes.	Divisions de E correspondant au zéro du galvanomètre.
$10°,95$	43,9
$96°,75$	105,5

Augment. de résist. du fil pour 1 degr. $\frac{105,5-43,9}{96,75-10,95}=0,71795$;

Résistance du fil à 0 degré...... $186,71-8,795=177,915$;

Coefficient d'augmentation de résistance pour 1 degré.......... $\frac{0,71795}{177,915}=0,004035$.

Deuxième expérience (avec le même fil).

Températures fixes.	Degrés de la roue E.
$9°,90$	49,0
$97°,00$	111,2

Augment. de résist. du fil pour 1 degr. $\frac{111,2-49}{97-9,9}=0,714$;

Résistance du fil à 0 degré....... $186,71-8,747=177,963$;

Coefficient d'augmentation de résistance pour 1 degré........... $\frac{0,714}{177,963}=0,004012$.

Moyenne des deux expériences... 0,004023.

Coefficient d'augmentation de résistance de l'argent pur pour 1 degré........	1er fil...	0,004021
Idem......................	2e fil...	0,004023
Moyenne...........		0,004022

Le détail des opérations étant indiqué, je rapporterai seulement les nombres obtenus avec les autres métaux :

MÉTAUX.	DIAMÈTRES des fils.	TEMPÉRATURE ambiante.	RÉSISTANCE pour 1 mètre, à la température ambiante.	LONGUEUR de l'hélice CD.	RÉSISTANCE de l'hélice CD, à la température ambiante.	TEMPÉRATURE fixe du bain. inférieure.	supérieure.	DIVISIONS de la roue E, correspondant à la température. infér.	supér.	AUGMENTATION de résistance du fil pour 1 degré.	RÉSISTANCE du fil à 0°.	COEFFICIENT d'augmentation de résistance du fil en passant de 0 à 1°.
	mm	°		m		°	°					
Argent pur	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0,004022
Plomb	0,687	12,75	269,8	2,376	641,045	12,75	97,95	71,6	298,3	2,660	607,130	0,004381
Id.	0,687	12,75	269,8	2,376	641,045	10,30	98,00	69,0	302,6	2,657	607,168	0,004376
Id	Plus gros	12,75	169,3	1,33	225,169	11,10	95,90	61,2	139,4	0,9222	213,411	0,004320
					Plomb. — Moyenne							0,004349
Or	"	12,75	179,9	1,237	222,54	12,85	97,45	57,3	118,6	0,7246	213,3013	0,003397
Fer	1er fil	12,75	805,6	1,22	982,832	11,50	98,00	33,7	410,6	4,357	927,28	0,004698
Id.	Autre fil	12,25	1504,1	1,794	2698,355	10,75	98,05	28,0	1086,6	12,126	2549,811	0,004755
					Fer. — Moyenne							0,004726
Cuivre	"	12,75	109,7	4,50	493,65	11,25	97,87	105,5	272,0	1,9222	469,142	0,004097
Platine	1er fil	11,25	1305,4	1,153	1505,126	10,8	98,00	57,0	297,3	2,7558	1474,123	0,001869
Id.	Autre fil	11,25	2081,58	0,956	1981,977	11,25	98,05	74,0	387,4	3,6106	1949,358	0,001853
					Platine. — Moyenne							0,001861
Zinc	"	12,75	476,2	1,540	733,348	9,80	97,60	12,6	237,6	2,5626	700,675	0,003657
Id.	"	12,75	*id.*	*id.*	*id.*	10,60	97,35	22,1	244,0	2,558	700,733	0,003653
Id.	Autre fil	"	78,2	1,880	147,016	12,25	97,60	48,5	91,0	0,4991	140,653	0,003548
Id.	Autre fil	"	"	"	"	11,50	97,90	47,2	93,8	0,5393	140,140	0,003848
					Zinc. — Moyenne							0,003675

MÉTAUX.	DIAMÈTRES des fils.	TEMPÉRATURE ambiante.	RÉSISTANCE pour 1 mètre à la température ambiante.	LONGUEUR de l'hélice CD.	RÉSISTANCE de l'hélice CD, à la température ambiante.	TEMPÉRATURE fixe du bain, inférieure.	TEMPÉRATURE fixe du bain, supérieure.	DIVISIONS de la roue E, correspondante à la température infér.	DIVISIONS de la roue E, correspondante à la température supér.	AUGMENTATION de résistance du fil pour 1 degré.	RÉSISTANCE du fil à 0°.	COEFFICIENT d'augmentation de résistance du fil en passant de 0 à 1°.
Cadmium............	"	12°,75	511,4	1m,470	751,758	11°,10	97°,75	11,0	261,4	2,8899	714,912	0,004040
Étain en barreau assez pur..............	"	12,75	155,9	1,276	198,928	10,05	97,95	105,6	207,3	1,157	184,176	0,006281
Id............	"	"	"	"	"	10,00	98,00	29,6	128,6	1,125	184,584	0,006095
Étain. — Moyenne......												0,006188
Étain contenant peut-être du plomb......	"	12,40	164,5	4,420	727,09	11,25	98,25	97,1	399,9	3,4805	684,938	0,005080
Id............	"	12,40	164,5	"	"	12,56	97,25	25,3	315,4	3,425	684,82	0,005003
Étain. — Moyenne......												0,005042
Mercure............	1er tube.	11,00	"	"	309,00	15,20	99,20	37,5	64,1	0,3166	305,52	0,001036
Id............	1er tube.	11,00	"	"	309,00	10,50	99,00	54,0	82,0	0,3164	305,52	
Id............	2e tube.	10,00	"	"	464,9	10,1	99,1	105,5	148,2	0,481	460,9	0,001045
Mercure. — Moyenne......												0,00104

Pour le mercure, on a pris un tube en U d'un très-petit diamètre, terminé par deux coupes, et l'on a rempli le tube et les deux coupes de mercure distillé; dans ces petites coupes viennent plonger les extrémités de deux gros fils de cuivre qui sont destinés à transmettre le courant dans le tube en U; tout le système est attaché à un tube passant à frottement dans le bouchon AA′ de la *fig.* 2, et qui sert à le maintenir au milieu de l'huile.

On a donc, en résumé, les résultats suivants pour les augmentations de résistance d'un fil métallique, en passant de 0 à 1 degré.

	Coefficient d'augmentation de résistance pour 1 degré.
Mercure	0,001040
Platine	0,001861
Or	0,003397
Zinc	0,003675
Argent	0,004022
Cadmium	0,004040
Cuivre	0,004097
Plomb	0,004349
Fer	0,004726
Étain du commerce contenant peut-être du plomb	0,005042
Étain assez pur	0,006188

L'application de ce tableau est facile; si la résistance à la conductibilité d'un fil d'argent est par exemple R à 0°, à la température T elle sera R(1 + 0,004022 T). On doit donc se servir de ces nombres comme des coefficients de dilatation dans l'augmentation de volume des corps.

Lorsqu'on élève la température d'un fil, son volume change par suite de la dilatation, la longueur L et le diamètre D augmentent; comme la résistance est proportionnelle à $\frac{L}{D^2}$, si l'on appelle α le coefficient de dilatation linéaire, et si la résistance variait toujours suivant les lois ordinaires, on aurait, pour sa valeur à T degrés,

$$\frac{L(1+\alpha T)}{D^2(1+\alpha T)^2} = \frac{L}{D^2(1+\alpha T)},$$

c'est-à-dire qu'elle aurait diminué dans le rapport de l'unité

au module de dilatation. Or, pour le métal qui se dilate le plus, le mercure, le coefficient de dilatation linéaire de 0 à 1 degré est 0,00006006. En passant de 0 à 100 degrés, la résistance devrait donc diminuer dans le rapport de 1 à 1,006, c'est-à-dire un peu moins du centième de sa valeur. Or, cette résistance augmente, par expérience, de 0,104, pour la même différence de température. Ainsi il est bien prouvé que les changements de volume dus à la dilatation n'influent pas, comme on aurait pu le penser, en changeant la longueur et le diamètre du fil, la résistance variant proportionnellement à l'allongement, et en raison inverse de l'augmentation de la section; mais que la chaleur, en augmentant la résistance à la conductibilité des métaux, agit, soit en augmentant la distance des molécules, et rendant plus difficile la transmission d'électricité à travers la masse, soit par une action propre en changeant la faculté conductrice des molécules des métaux. On est d'autant plus porté à cette dernière conclusion, que l'on remarque qu'il n'y a aucune liaison entre les coefficients d'augmentation de résistance, les dilatations et les pouvoirs conducteurs pour la chaleur et pour l'électricité.

D'après ce que nous avons dit, on peut voir que les rapports de conductibilité des métaux changent avec la température. Le tableau donné page 254 exprime les pouvoirs conducteurs à 12°,75. A 0 et à 100 degrés, en prenant l'argent à 0 degré pour unité, ils seront:

	Pouvoirs conducteurs à 0 degré.	Pouvoirs conduct. à 100 degrés par rapport à l'argent à 0°.	Rapport des pouv. cond. à 100 degrés.
Argent pur recuit............	100	71,316	100
Cuivre pur recuit............	91,517	64,919	91,030
Or pur recuit................	64,960	48,489	67,992
Cadmium......................	24,579	17,506	24,547
Zinc.........................	24,063	17,596	24,673
Étain........................	14,014	8,657	12,139
Fer recuit...................	12,350	8,387	11,760
Plomb........................	8,277	5,761	8,078
Platine recuit...............	7,933	6,688	9,378
Mercure distillé.............	1,7387	1,5749	2,2083

Je n'avais pas une assez grande longueur de palladium pour chercher l'influence de la température; mais, à 12°,75 centigrades, comme on l'a vu, son pouvoir conducteur est 13,977, celui de l'argent étant 100.

On voit que les rapports à 100 degrés ne sont pas les mêmes qu'à zéro, et que deux métaux, le zinc et le platine, ont changé de place dans l'ordre des conductibilités.

Pouvoir conducteur des liquides.

Le pouvoir conducteur des solutions salines est intimement lié à la faculté qu'elles possèdent d'être décomposées, et il est probable que les causes qui tendent à les rendre plus facilement décomposables augmentent aussi leur pouvoir conducteur. On conçoit, d'après cela, l'importance de l'étude de la conductibilité des fluides, dans les différentes circonstances de température et de densité, car elle pourra jeter quelque jour sur les affinités chimiques. Seulement, la détermination de ces pouvoirs conducteurs est une question plus délicate à aborder que celle des métaux, car la résistance à la conductibilité au passage des corps hétérogènes, et la chaleur, ont une influence beaucoup plus marquée dans les liquides que dans ceux-ci.

M. Pouillet a déterminé le pouvoir conducteur de quelques dissolutions en faisant usage de la même méthode que celle qui lui avait servi pour les fils métalliques. Il a d'abord comparé une dissolution concentrée de sulfate de cuivre à un fil de platine, puis ensuite les différents liquides entre eux, en cherchant quelles sont les longueurs des colonnes liquides qui, mises dans un circuit, donnent la même déviation à l'aiguille de la boussole. (Pouillet, *Traité de Physique*, 4e édition, tome I, page 708.) Nous rapporterons plus loin quelques-uns des résultats obtenus.

M. Wheatstone, dans le Mémoire cité plus haut (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome X, page 285), a indiqué un instrument fort simple pour déterminer le pouvoir conducteur des liquides, abstraction faite de la

résistance de l'électricité au passage des lames métalliques dans le liquide soumis à l'expérience. Cet appareil consiste en un tube de verre de 2 pouces de long, ouvert latéralement à une de ses extremités, et dans lequel se meut un piston terminé par une plaque de platine; une autre lame de platine est fixée intérieurement à l'autre extrémité du tube, de telle sorte qu'en plaçant ce tube dans un liquide, et élevant ou abaissant le piston, on fait varier la longueur de la colonne liquide qui se trouve dans le tube, le liquide entrant et ressortant par l'ouverture latérale. Alors on introduit cet appareil dans un circuit voltaïque qui renferme aussi une boussole, on note la déviation, on recule le piston, l'aiguille revient vers o degré; on introduit dans le circuit des fils métalliques ou des bobines contenant des longueurs connues de fil, et l'on ramène l'aiguille à sa position première: alors, la longueur du fil introduit dans le circuit exprime exactement la résistance de la colonne liquide représentée par la course même du piston dans le tube.

Ce procédé est très-bon, mais il faut que la résistance du liquide soit prise aussitôt qu'il est placé dans le circuit, parce qu'au bout d'un certain temps la nature de la solution change.

J'ai fait usage d'un autre procédé tout à fait identique à celui qui m'a servi pour les métaux, et fondé, comme ce dernier, sur l'emploi du galvanomètre différentiel de mon père. Du reste, il rentre à peu près dans la méthode de M. Wheatstone, si ce n'est que son emploi est plus facile, et les déterminations, je crois, plus exactes.

L'appareil est représenté *fig.* 3. Ce sont deux éprouvettes en verre à pied AB, A'B', de 4 à 5 centimètres de diamètre, et de 3 décimètres de hauteur. Elles reposent dans des entaillures pratiquées dans une planche MN bien horizontale. Dans ces éprouvettes, plongent deux tubes cylindriques *ab*, *a'b'*, retenus en haut par des bouchons, et s'arrêtant à 4 centimètres du fond de ces mêmes éprouvettes; ils ont même axe qu'elles. Ces tubes ont exactement

$21^{mill},54$ de diamètre intérieur, mesuré par le poids d'une colonne d'eau d'une certaine hauteur. Dans ces tubes, placés verticalement, peuvent se mouvoir, de haut en bas, et de bas en haut, des lames circulaires de platine E, E′ horizontales, d'un diamètre un peu plus petit que celui de ces tubes, et attachées à des fils de platine soudés dans des tubes de verre FE, F′E′. Des lames de différents métaux DL, D′L′, suivant les expériences, sont placées horizontalement au fond des éprouvettes, à la partie inférieure des tubes *ab*, *a′b′*. Ces lames sont attachées à des fils de même métal qui passent dans des tubes DC, D′C′. Le tube EF est attaché à une tige GF communiquant à une crémaillère, de telle sorte qu'on peut élever ou abaisser le disque E à l'aide de cette crémaillère, et connaître, à l'aide du vernier T, à $\frac{1}{10}$ de millimètre près, et même au delà, de combien on fait varier la position de E dans le tube. L'autre lame semblable E′ monte ou descend à l'aide du tube F′E′ qui passe à frottement dans le bouchon A′.

Cela fait, si l'on met dans les éprouvettes le liquide à l'aide duquel on veut opérer, et que l'on fasse passer un courant entre la lame E et la lame DL, si l'on élève ou l'on abaisse E, on introduira ou l'on retranchera du circuit une colonne liquide ayant même diamètre que le tube *ab*, et, pour longueur, l'élévation ou l'abaissement de la lame. Le liquide compris entre l'éprouvette et le tube intérieur n'est pas dans le circuit. On a disposé ainsi l'appareil afin que les produits formés autour de la lame positive tombent au fond de l'éprouvette, et n'altèrent pas la conductibilité du liquide placé dans le tube *ab*. On attache aux fils CD, C′D′, qui communiquent aux lames inférieures, deux fils CP, C′P′, qui plongent dans un godet plein de mercure P, et qui, par ce moyen, communiquent avec le pôle positif d'un ou de plusieurs couples. Le pôle négatif s'attache au point G, *fig.* 1, de jonction, des deux extrémités du fil du galvanomètre. Les deux autres extrémités, N et N′, de

ces mêmes fils, *fig.* 1 également, s'attachent aux extrémités S, S′, *fig.* 3, qui communiquent aux lames circulaires E,E′; N s'attache directement; la deuxième, N′, par l'intermédiaire des deux godets R, Q, et du cuivre UGF de la crémaillère. On voit donc que les deux circuits PC′E′F′S′, PCEFS, dans lesquels sont deux colonnes liquides E′D′, ED, remplacent les circuits tout métalliques de la *fig.* 1, F′OCAN, F′E′N′. Si donc l'on fait passer un courant provenant de un, deux ou quatre couples au plus, semblables au couple FF′, *fig.* 1, le courant se partagera entre les deux circuits, les lames E, E′ étant en haut des tubes; l'aiguille du galvanomètre se déviera un peu à droite ou à gauche, car les deux circuits ne sont pas, de prime abord, identiques en conductibilité : alors, à l'aide de la crémaillère OH, on lèvera ou l'on abaissera E, jusqu'à ce que l'aiguille soit revenue au zéro. En général, à moins de circonstances particulières, comme je vais le dire plus loin, elle s'y maintiendra; de telle sorte qu'en élevant E ou l'abaissant de 1 millimètre, l'aiguille est déviée à droite ou à gauche du zéro.

Une fois le zéro obtenu, les deux circuits sont identiques en conductibilité; on enlève le fil en cuivre V qui établit la communication entre les godets G et R, et l'on met à la place des hélices de fil de platine ou de cuivre d'une longueur connue; aussitôt l'aiguille du galvanomètre est chassée dans un sens qui indique que le circuit PCEFS a une résistance plus considérable de la valeur du fil mis à la place de V.

Si alors on abaisse la lame E avec la crémaillère O, l'aiguille reviendra à zéro, et lorsqu'on sera arrivé à ce point et qu'elle s'y maintiendra, on notera de combien on a descendu la lame. Alors la longueur d'une colonne liquide ayant pour diamètre le diamètre du tube *ab*, et pour longueur la course de la lame E, sera équivalente en résistance au fil mis entre R et Q à la place de V. Cette résistance sera indépendante de la résistance au passage des liquides dans les solides; car les actions sont identiques dans les deux

expériences, comme dans l'appareil de M. Wheatstone, et les courants ramenés à l'égalité. Seulement ici, on fait varier la hauteur de la colonne liquide employée pour trouver la valeur en résistance de l'hélice placée en V : c'est l'inverse du procédé de M. Wheatstone. Il faut employer plusieurs hélices suivant les liquides dont on fait usage.

Si l'on a affaire à un liquide qui renferme un sel métallique décomposé par le courant, alors il faut, en général, mettre pour lames positives inférieures DL, D'L' des lames de même nature que le métal dissous; car il se reforme au pôle positif le sel décomposé par le courant. Si l'on ne peut pas avoir ce métal en lames, il faut prendre un métal oxydable, et le sel formé restant au bas, de l'éprouvette, n'entre pas dans le tube *ab*, et dans le cours de l'expérience ne dérange pas la mesure du pouvoir conducteur. Il faut donc éviter qu'il ne se dégage pas de gaz sur DL et D'L'. Le métal se déposant sur E et E', il n'y a pas de contre-courant, et l'aiguille du galvanomètre se maintient au zéro, de telle sorte qu'on a la résistance avec une grande précision.

Si l'on fait usage d'un liquide autre qu'une solution d'un sel métallique, alors il faut toujours prendre pour lames positives des lames oxydables, pour éviter le dégagement de gaz en bas de l'éprouvette, et n'agir qu'avec le plus faible courant possible afin qu'il ne se dégage que peu de gaz en E et E' : on incline alors un peu ces lames pour que l'hydrogène ne reste pas adhérent; mais, malgré cela, l'aiguille du galvanomètre n'est pas fixe à zéro, elle oscille un peu à droite et à gauche, et l'on saisit la position où les oscillations de chaque côté ont même amplitude. Du reste, on ne se trompe pas, dans ce cas, de $\frac{1}{2}$ millimètre sur la longueur de la colonne liquide. Il faut toujours, en tout cas, répéter plusieurs fois cette opération afin de s'assurer si l'on retombe sur les mêmes nombres.

On a d'abord comparé le fil conducteur qui sert à former les hélices de résistance auxquelles on doit rapporter les

pouvoirs conducteurs des liquides, avec le fil étalon en laiton de l'appareil à roue E, E', et par conséquent aux fils de cuivre et de platine qui ont été pris pour unité. On a trouvé que 20 centimètres de ce fil de platine valent 23 tours $+ 25^{div},3$ de l'appareil, ou bien $23.108 + 25,3 = 2509^{div},3$; donc 1 mètre de ce fil vaut 12546,5 à la température de 9 degrés.

On a comparé ensuite le tube *ab*, *fig.* 3, avec le diamètre des fils pris pour unité, afin d'avoir le rapport de résistance des liquides et des métaux. Le diamètre de *ab* est $21^{mm},54$, dont le carré est 464,016, et les fils pris pour unité ont $0^{mm},3$ de diamètre; les résistances étant proportionnelles aux longueurs et en raison inverse du carré des diamètres, il faut multiplier les longueurs métalliques par $\frac{(21,54)^2}{(0,3)^2} = 5155,73$, pour ramener les fils au diamètre 21,54 du tube *ab*.

Or, à zéro un mètre du fil d'argent recuit a pour résistance 109,784; donc 1 millimètre de fil étalon vaudra $\frac{12546,5}{109,784} = 114^{m},283$ de fil d'argent à 0 degré de $0^{mm},3$ de diamètre; et un mètre de fil de platine vaudra $5155,73 \times 114,283$, ou bien $589212^{m},292$ d'un fil d'argent à 0 degré de même diamètre que le tube *ab* qui sert à comparer les liquides.

Sulfate de cuivre.

On a pris une dissolution saturée de sulfate de cuivre à $9^{o},25$ centigrades ayant une densité de 1,1707, et l'on a fait usage d'une hélice de fil ayant 3 mètres de fil de platine, et appelée *bobine* n° II.

A la température de $9^{o},25$, on a eu :

Dissolution saturée.

Fil introduit dans le circuit.	Divisions de la tige en cuivre de la crémaillère pour ramener l'aiguille du galvanomètre à 0°.	Différences.
	centim	
o	34,10	9,52
Fil n° II.	24,58	
o	34,10	9,58
Fil n° II.	24,62	

En moyenne, la longueur de la colonne liquide correspondant au fil n° II est donc $9^{cent},55$.

On a pris 100 centimètres cubes de cette solution, et on l'a étendue d'eau distillée jusqu'à ce qu'il y en ait 200 ou que le volume soit double; ainsi un même volume de liquide, à la même température, contenait moitié moins de sulfate de cuivre cristallisé. On a eu :

Fil dans le circuit.	Divisions de la tige de la crémaillère.	Différences.
	centim	
o	34,42	6,14
Fil n° II.	28,28	
o	34,39	6,13
Fil n° II.	28,26	

En moyenne, la longueur correspondant à l'hélice de platine est $6^{cent},135$.

On a étendu encore la dissolution saturée jusqu'à ce que le volume primitif soit quatre fois plus grand, et dans le même volume il y avait quatre fois moins de sulfate cristallisé. On a eu :

Fil dans le circuit.	Divisions de la tige de la crémaillère.	Différences.
	centim	
o	34,50	3,68
Fil n° II.	30,82	
o	34,48	3,68
Fil n° II.	30,80	

et pour moyenne, $3^{cent},68$.

Ainsi, pour la dissolution saturée et les deux autres à $9°,25$, qui contiennent $\frac{1}{2}$ et $\frac{1}{4}$ de sulfate en volume, on a, pour les longueurs des colonnes liquides qui valent 3 mètres de platine :

DISSOLUTIONS.	SULFATE contenu.	LONGUEURS des colonnes liquides.
		centim
Saturée............................	1	9,55
Étendue de façon que le volume soit double............................	$\frac{1}{2}$	6,135
Étendue de façon que le volume soit quadruple............................	$\frac{1}{4}$	3,68

Or 3 mètres de platine valent 3 fois 58921229^{cent},2 de fil d'argent à zéro de même diamètre que le tube *ab*, ou bien 176763687^{cent},6.

Donc, en divisant ce nombre par les longueurs 9,55; 6,135; 3,68, on aura les résistances de 1 centimètre de liquide par rapport à l'argent. Le pouvoir conducteur, en représentant par 100000000 celui de l'argent, sera pour la première longueur

$$\frac{100\,000\,000 \times 9{,}55}{176\,763\,687{,}6},$$

et ainsi des autres; alors on aura pour les pouvoirs conducteurs, celui de l'argent étant 100000000 :

DISSOLUTIONS à la température de 9 degrés.	SULFATE de cuivre contenu (1).	POUVOIRS conducteurs.
Saturée............................	1	5,42
Étendue de façon à occuper un volume double............................	$\frac{1}{2}$	3,47
Étendue de façon à occuper un volume quadruple............................	$\frac{1}{4}$	2,08

(1) On voit que le pouvoir conducteur du cuivre étant les $\frac{91}{100}$ de celui de l'argent, le pouvoir conducteur du cuivre sera environ 16 millions plus considérable que celui de sa dissolution de sulfate. C'est précisément le nombre qu'avait trouvé M. Pouillet d'après la méthode citée au commencement de ce paragraphe. Ces deux procédés, dans ce cas, se sont donc accordés complétement.

Si l'on cherche, au lieu des pouvoirs conducteurs, les nombres inverses qui représentent les résistances, on peut alors faire la remarque suivante, qui conduit à une formule empirique très-simple exprimant la résistance ou le pouvoir conducteur, connaissant le poids du sel contenu dans un volume déterminé de la solution. En effet, les résistances s'obtiennent en divisant l'unité par les pouvoirs conducteurs, et l'on a alors :

Dissolutions.	Sulfate contenu.	Résistance.
Saturée..........	1	0,1845
Étendue..........	$\frac{1}{2}$	0,2882
Étendue..........	$\frac{1}{4}$	0,4808

Les différences entre les résistances sont en raison inverse des différences entre le poids du sulfate renfermé dans la solution, c'est-à-dire que la résistance étant représentée par R, le poids du sulfate par q, et A et B étant deux constantes, on a

$$\text{(1)} \qquad R = A + \frac{B}{q}.$$

Les expériences précédentes donnent les trois équations du premier degré,

$$\begin{aligned} 0,1845 &= A + B, \\ 0,2882 &= A + 2B, \\ 0,4808 &= A + 4B. \end{aligned}$$

qui, par leur combinaison deux à deux; conduisent aux expressions

	B = 0,1037		A = 0,0849
	B = 0,0988		A = 0,0890
	B = 0,0963		A = 0,0824
Moyenne...	B = 0,0996	Moyenne..	A = 0,0854

Alors, en admettant pour A et pour B ces valeurs moyennes, l'équation devient

$$B = 0,0856 + \frac{0,0996}{q}.$$

Comme, en désignant le pouvoir conducteur par C, on a

$R = \frac{1}{C}$, on aura

$$\frac{1}{C} = 0{,}0856 + \frac{0{,}0996}{q},$$

q exprimant les nombres 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ de sulfate par rapport à la quantité nécessaire pour saturer l'eau. Si l'on cherche les conductibilités déduites de cette formule et qu'on les compare à celles qui ont été trouvées par expérience, on a :

Quantité de sulfate contenu.	Conductibilités observées.	Conductibilités calculées.
1	5,42	5,405
$\frac{1}{2}$	3,47	3,51
$\frac{1}{4}$	2,08	2,06

L'expérience suivante a été faite avec du sulfate de cuivre, mais en mettant, dans 250 grammes d'eau à 9°,60 de température, successivement 12gr,50, 25 grammes et 50 grammes de sulfate. En passant les détails des expériences et arrivant de suite aux résultats, on a trouvé en moyenne, pour les longueurs des colonnes liquides équivalentes à 3 mètres de fil de platine ou à l'hélice n° II, à la température de 9°,60 :

Dissolutions.	Sulfate contenu q.	Longueurs des colonnes liquides.
250 grammes d'eau et 50 gr. de sulfate.....	1	7,337
250 grammes d'eau et 25 gr. de sulfate.....	$\frac{1}{2}$	4,648
250 grammes d'eau et 12gr,50 de sulfate.....	$\frac{1}{4}$	2,85

On déduit de là pour les pouvoirs conducteurs, celui de l'argent à égalité de diamètre étant 100 000 000,

Dissolutions.	Pouvoirs conducteurs C.
1	4,15
$\frac{1}{2}$	2,63
$\frac{1}{4}$	1,613

Si l'on cherche par la formule (1),

$$\frac{1}{C} = A + \frac{B}{q},$$

les valeurs de A et de B qui satisfont à l'équation, on trouve,

en moyenne,

$$A = 0,1115,$$
$$B = 0,1295;$$

alors on obtient :

Conductibilités observées.	Conductibilités calculées.
4,15	4,15
2,63	2,69
1,61	1,59

On voit que les résultats sont à peu près les mêmes que dans l'expérience précédente, en étendant d'eau le volume de la solution de façon à ce que les volumes soient doubles ou quadruples.

M. Pouillet (*Physique*, 4e édition, tome Ier, page 711) cite une expérience dans laquelle il a déterminé le pouvoir conducteur du sulfate de cuivre. La formule précédente s'y applique encore; en effet, les nombres sont :

DISSOLUTIONS.	RAPPORT du poids du sulfate contenu q.	CONDUCTIBILITÉS C.
Sulfate de cuivre saturé.................	1	1,00
Id. étendu de 1 volume d'eau.......	$\frac{1}{2}$	0,64
Id. étendu de 2 volumes............	$\frac{1}{3}$	0,44
Id. étendu de 4 volumes............	$\frac{1}{5}$	0,31

En appliquant la formule

$$\frac{1}{C} = A + \frac{B}{q},$$

on a, pour les moyennes,

$$A = 0,412,$$
$$B = 0,583;$$

alors on trouve avec ces nombres :

Conductibilités observées.	Conductibilités calculées.
1,00	1,005
0,64	0,63
0,44	0,46
0,31	0,30

La formule donne donc la conductibilité pour un degré de concentration déterminé.

Il serait facile d'exprimer le poids q du sel dissous dans un volume déterminé au moyen de la densité; mais pour les expériences, je préfère laisser la formule sous la forme précédente.

Chlorure de sodium.

On a pris pour électrode positive une lame de cuivre, et une lame de platine pour électrode négative. Comme il se dégage du gaz sur cette dernière, l'aiguille du galvanomètre oscille; on s'arrête lorsque les oscillations ont même amplitude à droite et à gauche du zéro.

La dissolution de sel marin marquait 25 degrés à l'aréomètre, et avait été saturée à la température de $9°,50$. Au moment de l'expérience, la température était de $13°,40$.

On ne peut plus employer le fil de platine n° II et ayant 3 mètres de long, car le liquide est trop conducteur. On a fait usage d'un fil de platine de même diamètre que le précédent, et d'une longueur de $0^m,50$. Il faudra multiplier les résultats obtenus par 6 pour avoir des pouvoirs conducteurs comparables à ceux que nous avons donnés précédemment.

On a obtenu, en plaçant successivement ce fil long de $0^m,50$ à la place de V, *fig.* 3 :

DISSOLUTIONS DE CHLORURE DE SODIUM.	LONGUEURS des colonnes liquides équivalentes au fil de $0^m,5$.
Solution saturée	9,62
Id. étendue de façon à occuper un vol. double..	6 80
Id. étendue de façon à occuper un vol. triple..	5,15
Id. étendue de façon à obtenir un vol. quadruple.	4,00

En multipliant les résultats par 6 et ramenant tout au pouvoir conducteur de l'argent pris pour 100 000 000, comme il a été dit précédemment, on a :

Poids du chlorure contenu dans la solution.	Pouvoir conducteur.
1	31,52
$\frac{1}{2}$	23,08
$\frac{1}{3}$	17,48
$\frac{1}{4}$	13,58

Par la formule

$$\frac{1}{C} = A + \frac{B}{q},$$

on a, en moyenne,

$$A = 0,018005,$$
$$B = 0,01399;$$

et de là :

Conductibilités par expérience.	Conductibilités par le calcul.
31,52	31,26
23,08	21,75
17,48	16,68
13,58	13,52

Bichlorure de cuivre.

On a commencé par étendre de cinq fois son volume d'eau la dissolution saturée à 9°,25 de température, ayant une densité de 1,4308; puis on a opéré sur cette dissolution étendue comme précédemment.

On a eu, avec une bobine n° III ayant un fil de platine long de 1 mètre:

DISSOLUTIONS.	LONGUEURS des colonnes liquides équivalentes.
Saturée et étendue de cinq fois son volume.........	6,10
Id. et étendue de façon à occuper un vol. double.	3,73
Id. et étendue de façon à occuper un volume quadruple..............................	2,14

Ramenant les résultats à ce qu'ils seraient avec le premier fil étalon d'une longueur de 3 mètres, et cherchant les conductibilités par rapport à l'argent, on a :

Rapport des poids du chlorure renfermé dans les solutions q.	Pouvoirs conducteurs C.
1	10,35
$\frac{1}{2}$	6,33
$\frac{1}{4}$	3,63

Appliquant la formule

$$\frac{1}{C} = A + \frac{B}{q},$$

on a, en moyenne,

$$A = 0,0368,$$
$$B = 0,0599;$$

et de là :

Conductibilités par expérience.	Conductibilités par le calcul.
10,35	10,34
6,33	6,38
3,63	3,61

On voit donc qu'avec ces différents sels, la formule citée plus haut peut représenter la conductibilité des dissolutions à différents degrés de concentration. Mais cette loi ne pourrait pas s'appliquer dans toute sa généralité lorsqu'on opère avec des sels presque déliquescents ou très-avides d'eau; alors dans cette circonstance, lorsqu'on est arrivé à un certain degré de concentration, la conductibilité, loin d'augmenter, atteint un maximum et ensuite diminue. Je citerai comme exemple les résultats obtenus avec le nitrate de cuivre et le sulfate de zinc.

Nitrate de cuivre.

Première dissolution. — Presque saturée à 10 degrés : densité à la même température, 1°,5790. On a pris pour hélice mise à la place de V, *fig.* 3, le fil de platine n° III long de 1 mètre.

On a eu, en moyenne, à la température de 10 degrés :

DISSOLUTIONS.	POIDS du nitrate contenu dans le même volume.	LONGUEURS des colonnes liquides qui équivalent au fil n° III.	POUVOIRS conducteurs rapportés à l'argent.
Concentrée. Densité, 1,5790.	1	centim 4,95	8,401
Étendue d'eau de façon que son volume soit double..	$\frac{1}{2}$	9,67	16,412
Étendue d'eau à un volume triple..................	$\frac{1}{3}$	8,84	15,004
Étendue d'eau à un volume quadruple..............	$\frac{1}{4}$	7,75	13,154

Deuxième dissolution. — Saturée à 13 degrés centigrades : densité, 1,6008 ; température, 13 degrés.

DISSOLUTIONS.	POIDS de nitrate contenu dans le même volume.	LONGUEURS des colonnes liquides qui équivalent au fil n° III.	POUVOIRS conducteurs rapportés à l'argent.
Saturée....................	1	centim 5,30	8,995
Étendue d'eau de façon à occuper un vol. $\frac{3}{2}$.........	$\frac{2}{3}$	9,55	16,208
Étendue d'eau à un volume double..................	$\frac{1}{2}$	10,06	17,073
Étendue d'eau à un volume quadruple..............	$\frac{1}{4}$	7,92	13,442

On voit que le pouvoir conducteur augmente jusqu'à une certaine limite à mesure que l'on étend la solution d'eau, qu'il atteint un maximum, puis ensuite diminue, de telle sorte qu'on peut avoir une dissolution de nitrate de cuivre très-étendue qui ait le même pouvoir conducteur qu'une solution concentrée.

Ce sel n'est pas le seul qui soit dans ce cas ; je crois qu'en général les sels déliquescents ou qui se dissolvent en très-

grande quantité dans l'eau présentent les mêmes phénomènes. Le sulfate de zinc en est un exemple.

On a eu, avec une dissolution concentrée de ce sel à 14°,40 de température, ayant une densité de 1,4410 :

DISSOLUTIONS.	RAPPORT des poids du sulfate contenu.	LONGUEUR de la colonne liquide équivalent à 1 mètre du fil de platine.	POUVOIR conducteur rapporté à l'argent.
Saturée..................	1	centim 3,40	5,77
Étendue d'eau de manière à occuper un volume double.	$\frac{1}{2}$	4,20	7,13
Étendue d'eau à un volume quadruple...............	$\frac{1}{4}$	3,20	5,43

Cet effet est analogue à celui qui se passe avec l'acide sulfurique; en effet, ce dernier, concentré à 66 degrés, et ne contenant que 1 atome d'eau, est très-peu conducteur de l'électricité. L'eau pure, de son côté, est dans le même cas. Le mélange des deux liquides étant bon conducteur, doit, en variant les proportions, donner lieu à un maximum. Il peut donc se faire que le maximum de conductibilité que l'on observe avec les sels qui se dissolvent en très-grande quantité dans l'eau tienne à leur non-conductibilité à l'état anhydre, et que ces sels, lors de la trop grande concentration de la dissolution, agissent mécaniquement pour augmenter la résistance.

Si l'on dépasse le point où le pouvoir conducteur est maximum, et que les solutions salines soient très-étendues, alors on observe la même loi que précédemment, et le pouvoir conducteur et le poids du sel sont liés par la formule

$$\frac{1}{C} = A + \frac{B}{q},$$

Pour le démontrer, on a pris une dissolution du sel qui présente si nettement le maximum de résistance, du nitrate de cuivre dont la densité était 1,6008, et on l'a étendu jusqu'à ce que cette même densité soit devenue 1,085, puis on a opéré comme précédemment.

La température était de 15 degrés, et les colonnes liquides, équivalentes à un fil de platine de $1^m,875$, ont donné :

DISSOLUTIONS AQUEUSES	RAPPORT des quantités de sel contenu q.	LONGUEUR des colonnes liquides équivalentes au fil.	POUVOIR conducteur rapporté à l'argent c.
Nitrate de cuivre. Densité, 1,0850..................	1	centim 9,92	8,979
Id. étendu d'eau de manière à occuper un volume double....	$\frac{1}{2}$	5,91	5,349
Id. étendu d'eau de manière à occuper un volume quadruple.	$\frac{1}{4}$	3,25	2,942
Id. étendu d'eau de manière à occuper un volume octuple..	$\frac{1}{8}$	1,70	1,539

D'après la formule

$$\frac{1}{C} = A - \frac{B}{q},$$

on a, en moyenne,

$$A = 0,0347,$$
$$B = 0,0766;$$

et de là :

Conductibilités par expérience.	Conductibilités par le calcul.
8,979	8,98
5,349	5,32
2,942	2,93
1,539	1,54

On voit que les nombres sont exprimés avec exactitude par la formule. Ainsi, cette formule donne le pouvoir con-

ducteur pour tous les degrés de concentration de certains sels, et pour d'autres, depuis la limite inférieure jusqu'à un certain degré de concentration.

Si l'on veut exprimer cela autrement, on peut dire que les pouvoirs conducteurs et les poids des sels renfermés sous le même volume d'une solution saline forment les abscisses et les ordonnées d'une hyperbole équilatère dont les asymptotes sont parallèles aux axes des coordonnées supposées rectangulaires.

La formule suppose que le dissolvant, qui est ici l'eau, ait une résistance très-grande par rapport au sel contenu : c'est, en effet, ce qui arrive, car l'eau distillée très-pure conduit très-mal les courants électriques.

Ce résultat est très-important, car il permettra de déterminer le pouvoir conducteur du sel ou de l'hydrate, qui est décomposé par le courant. En effet, dans la formule

$$\frac{1}{C} = A + \frac{B}{q},$$

si l'on évalue q en grammes, le nombre B ne dépendra que du sel renfermé dans un volume donné de solution, ou de la combinaison sur laquelle l'électricité porte son action. La formule que nous avons donnée permettra aussi d'introduire, dans les calculs des piles, le pouvoir conducteur ou la résistance à la conductibilité d'une solution d'un sel métallique à un degré de concentration déterminé, la résistance à la conductibilité étant, bien entendu, indépendante de la perte au passage des solides dans les liquides.

Je rapporterai dans le tableau suivant les pouvoirs conducteurs de quelques liquides que l'on emploie fréquemment.

Les expériences avec l'acide azotique ont été faites avec des électrodes en platine et des courants peu énergiques.

SUBSTANCES.	DENSITÉS.	TEMPÉRATURES.	POUVOIRS conducteurs.
Argent pur......................	"	0°,00	100 000 000
Eau saturée de sulfate de cuivre...	1,1707	9,25	5,42
Eau saturée de chlorure de sodium, à 9°,50......................	"	13,40	31,52
Eau saturée de nitrate de cuivre...	1,6008	13,00	8,995
Eau saturée de sulfate de zinc.....	1,4410	14,40	5,77
250 grammes d'eau et 30 grammes d'iodure de potassium..........	"	12,50	11,20
220 cent. cub. d'eau et 20 cent. cub. d'acide sulfurique à 1 atome d'eau.	"	19,00	88,68
Acide azotique du commerce à 36°.	"	13,10	93,77
30 grammes de protochlorure d'antimoine, 120 cent. cubes d'eau et 100 cent. cub. d'ac. chlorhydrique.	"	15,00	112,01

Action de la chaleur sur les liquides.

La chaleur, avons-nous dit plus haut, augmente le pouvoir conducteur des liquides, au lieu de le diminuer comme dans les métaux. L'appareil *fig.* 3 est d'un usage facile pour trouver la conductibilité à des températures différentes : il suffit de chauffer l'éprouvette AB au bain-marie jusqu'à ce que la température paraisse fixe; alors, comme l'opération est rapide, pendant le cours de l'expérience les résultats ne changent pas. On peut également verser un liquide chauffé et chercher le pouvoir conducteur à mesure qu'il se refroidit. Je citerai des résultats obtenus avec du sulfate de cuivre, du sulfate de zinc et de l'acide nitrique, en faisant chauffer le liquide avant l'expérience.

De l'eau saturée de sulfate de cuivre, à 14°,40 de température, a donné :

Fil dans le circuit.	Divisions de la tige de la crémaillère.	Différences.
o	32,38	3,88
Fil n° III, $0^m,50$ de platine.	28,50	

A la température de 56 degrés centigrades, on a eu

o	34,25	8,5
Fil n° III.	25,75	

Ces nombres étant proportionnels au pouvoir conducteur, on voit que l'augmentation de conductibilité est 8,5 — 3,88 pour 36° — 14°,4 ou 41°,6, c'est-à-dire, en moyenne, $\frac{8,5-3,88}{56-14,4} = 0,111$ pour 1 degré.

Ainsi, il suffit d'une différence de 35 degrés pour que le pouvoir conducteur de ce liquide soit doublé, et le rapport de cette augmentation de conductibilité à la conductibilité elle-même est

$$\frac{0,111}{3,88} = 0,0286.$$

Sulfate de zinc. — Solution concentrée étendue d'eau, à quatre fois son volume :

TEMPÉRATURES.	FIL DANS LE CIRCUIT.	DIVISIONS de la crémaillère.	DIFFÉRENCE en conductibilité
20°,00	o	32,40	3,5
	Fil n° III.	28,9	
54°,40	o	32,8	6,18
	Fil n° III.	26,62	

L'augmentation de conductibilité est 2,68; et pour 1 degré,

$$\frac{2,68}{54,4-20} = 0,078.$$

Il suffit d'une élévation de température de 44°,9 pour que le pouvoir conducteur à 20 degrés soit doublé, et le rapport de l'augmentation de conductibilité à cette même conduc-

tibilité est

$$\frac{0,078}{3,5} = 0,0223.$$

Acide azotique du commerce à 36 degrés; lames décomposantes de platine.

TEMPÉRATURES.	FIL DANS LE CIRCUIT.	DIVISIONS de la crémaillère.	DIFFÉRENCE en conductibilité
13°,1......	0	32,85	5,52
	0^m,10 de fil de plat. dans le circ.	27,33	
40°,50.....	0	33,00	9,5
	0^m,20 de fil de plat. dans le circ.	23,5	

L'augmentation de conductibilité est 9,5—5,52=3,98; et pour 1 degré, $\frac{3,98}{40,5 - 13,1} = 0,145.$

Il suffit d'une élévation de température de 38 degrés, pour que le pouvoir conducteur à 13 degrés soit doublé.

Le rapport de l'augmentation de conductibilité à cette même conductibilité est

$$\frac{0,145}{5,52} = 0,026.$$

Ainsi avec ces trois liquides bien différents, le pouvoir conducteur de chacun d'eux étant considéré comme l'unité, la conductibilité, pour une augmentation de température de 1 degré, a augmenté de plus des $\frac{2}{100}$ de leur valeur, savoir :

Solution saturée de sulfate de cuivre.......	0,0286
Solution étendue de sulfate de zinc........	0,0223
Acide nitrique du commerce..............	0,0263

En opérant avec des solutions diverses, on trouverait des différences aussi grandes qu'avec les métaux; il était donc inutile d'étendre ces résultats; je n'en ai rapporté quelques-

uns que pour montrer les limites de grandeur entre lesquelles ils sont compris, et pour prouver que la chaleur agit, non pas en raison de la dilatation, mais bien par une action propre qui augmente la faculté décomposante de la solution et facilite le passage de l'électricité.

Du reste, ce qui montre encore les relations qui existent entre la facilité avec laquelle les solutions salines sont décomposées et leur conductibilité électrique, c'est que mon père vient d'établir, dans un travail publié récemment, que les plus légères traces d'électricité, même celles que l'on obtient quand on frotte légèrement un bâton de résine, ne peuvent pas traverser les liquides sans les décomposer.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

On peut, en résumé, déduire des résultats renfermés dans ce Mémoire les conclusions suivantes :

1°. La conductibilité électrique d'un métal varie, comme on le sait, avec la température; elle diminue lorsque celle-ci s'élève.

On peut encore exprimer ce fait en disant que la résistance à la conductibilité d'un métal augmente à mesure que la température s'élève; car on est convenu de nommer résistance et pouvoir conducteur deux quantités inverses l'une de l'autre dont le produit est constant.

On a déterminé pour chaque métal le coefficient d'augmentation de résistance pour une élévation de température de 1 degré, par rapport à la résistance de ce métal à zéro.

Ces nombres (*voyez* page 275) ne dépendent pas de la dilatation du fil qui fait varier un peu la longueur et le diamètre; mais indiquent que la chaleur agit soit en augmentant la distance des molécules et rendant plus difficile la transmission de l'électricité à travers la masse, soit par une action propre en changeant la faculté conductrice des particules des métaux.

2°. Les coefficients d'augmentation de résistance des mé-

taux n'étant pas dans les mêmes rapports que les résistances et ne dépendant que de la nature des substances, les rapports entre les conductibilités doivent varier avec la température. C'est, en effet, ce qui a lieu (*voyez* page 275). On a donné les pouvoirs conducteurs à zéro et à 100 degrés.

3°. Les métaux recuits sont meilleurs conducteurs que lorsqu'ils sont écrouis; mais les rapports entre les conductibilités des métaux recuits et écrouis sont différents pour chaque métal.

4°. Les solutions salines peuvent se diviser en deux classes sous le rapport de la conductibilité. La première comprend les solutions dont le pouvoir conducteur augmente avec le degré de concentration jusqu'au point de saturation : le *sulfate de cuivre* et le *chlorure de sodium* en sont des exemples; la seconde renferme les solutions des sels déliquescents ou qui se dissolvent en grande quantité dans l'eau, et dont le pouvoir conducteur augmente d'abord avec le degré de concentration, atteint bientôt un maximum, puis diminue ensuite quand cette concentration augmente. On peut donc avoir une solution saturée de ces derniers sels qui ait le même pouvoir conducteur qu'une solution très-étendue. Le *nitrate de cuivre* et le *sulfate de zinc* dissous sont dans cette seconde classe. Les conductibilités ou les résistances sont toujours prises à la même température, et sont indépendantes des résistances au passage des lames métalliques dans les liquides.

5°. Si l'on représente par C le pouvoir conducteur et par q la quantité de sel dissous dans l'unité de volume de la solution, on a l'équation

$$\frac{1}{C} = A + \frac{B}{q},$$

A et B étant deux constantes pour un même sel et une température déterminée.

Cette équation donne le pouvoir conducteur C pour tous

les degrés de concentration des solutions de la première classe qui n'ont pas de maximum de conductibilité; elle s'applique également à celles de la deuxième (nitrate de cuivre, sulfate de zinc), depuis la limite inférieure, c'est-à-dire lorsqu'elles sont très-étendues, jusqu'à un certain degré de concentration, au-dessous de celui qui donne le maximum.

Si l'on désigne la résistance à la conductibilité par R, on sait que le produit de R par C est constant; donc

$$R = \frac{1}{C} \quad \text{et} \quad R = A + \frac{B}{q}.$$

Cette formule exprime aussi, pour les liquides auxquels elle s'applique, que les pouvoirs conducteurs d'une solution à différents degrés de concentration et les poids du sel renfermé sous le même volume, forment les abscisses et les ordonnées d'une hyperbole équilatère.

6°. La dissolution saline qui conduit le mieux les courants électriques les conduit encore environ un million de fois moins bien que l'argent.

7°. L'élévation de température, on le sait, augmente le pouvoir conducteur des liquides au lieu de le diminuer comme dans les métaux.

On a déterminé cette augmentation pour divers liquides, et l'on a trouvé qu'en passant de 0 à 100 degrés, la conductibilité augmente de manière à devenir égale à 3 et 4 fois la valeur de cette même conductibilité à zéro.

Pour les divers métaux, au contraire, la résistance augmente à peu près entre les mêmes limites de température dans le rapport de 10 à 11 pour le mercure, et de 10 à 16 pour l'étain. Ce sont les deux extrêmes; les autres métaux sont intermédiaires. (*Voyez* page 265.)

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

Sur la faculté nutritive des fourrages avant et après le fanage;

PAR M. BOUSSINGAULT.

On est généralement porté à admettre que les fourrages consommés en *vert* sont beaucoup plus nourrissants qu'alors qu'ils ont été fanés; en d'autres termes, on croit que 100 kilogrammes de trèfle, de luzerne, d'herbe de prairie, ont une valeur nutritive bien plus élevée que le foin qui résulte de 100 kilogrammes de chacun de ces aliments. Cependant, en compulsant avec attention ce qui a été écrit sur cette intéressante question, je n'ai rien trouvé qui justifiât suffisamment cette opinion. Il est vrai que deux bons observateurs, MM. Perrault de Jotemps, ont reconnu qu'il faut $1^{kil},50$ de foin, de trèfle ou de luzerne, pour remplacer 4 kilogrammes des mêmes fourrages verts dans la nourriture des béliers; sous l'influence de l'une ou l'autre de ces rations, il y a un développement satisfaisant de chair et de laine. D'un autre côté, ces cultivateurs ont constaté par leur pratique que, dans le fanage, en y comprenant la fermentation dans le fénil et toutes les pertes accidentelles, 100 kilogrammes de trèfle ou de luzerne se réduisent, en moyenne, à 23 kilogrammes de foin. Avec ces données, on arrive, en effet, à cette conséquence, qu'en rationnant un bélier avec $1^{kil},50$ de luzerne sèche, on administre précisément, sous le rapport de la valeur, l'équivalent de $6^{kil},52$ de luzerne verte, c'est-à-dire $2^{kil},50$ de nourriture verte de plus que celle qui est nécessaire quand la ration se compose de la plante non fanée, et que s'il faut, comme aliment, 100 kilogrammes de trèfle ou de luzerne récemment fauchés, il faudra, pour nourrir au même degré, le foin provenant de 163 kilogrammes des mêmes fourrages.

On comprend aisément que ce mode de procéder est trop

indirect pour résoudre convenablement la question que nous avons en vue. La discussion présentée par MM. Perrault de Jotemps se borne à prouver, ce que personne ne conteste, que la manière la plus avantageuse d'utiliser les produits de la prairie artificielle est de les faire consommer autant que possible en vert, afin d'échapper aux frais, aux pertes, en un mot, à toutes les éventualités qu'entraîne toujours le fanage. Mais cette discussion n'établit nullement que la faculté nutritive des fourrages verts soit amoindrie par le seul fait de leurs transformations en fourrages verts; elle laisse intacte la question physiologique. Depuis plusieurs années j'ai fait diverses tentatives pour la résoudre. Dans ce but, j'ai suivi avec le plus grand soin l'influence que des substitutions alternatives d'aliments verts et d'aliments secs pouvaient exercer sur le poids de trente-deux chevaux sur lesquels portaient mes recherches. Les résultats ont été tantôt à l'avantage, tantôt au désavantage du régime vert, et, après de très-nombreuses pesées, je me suis trouvé tout aussi peu avancé que je l'étais en commençant mes expériences.

Ces résultats contradictoires s'expliquent par l'imperfection de la méthode que j'avais adoptée. Il est évident que les foins avec lesquels on rationnait les chevaux, ayant été obtenus l'année antérieure, ne répondaient pas toujours, sous le rapport de la qualité, à celui qu'aurait fourni le trèfle vert auquel on les comparait; et pour ce dernier fourrage, il existait constamment une grande incertitude sur le poids réel de la ration employée, à cause de la plus ou moins forte proportion d'eau qui pouvait s'y rencontrer. Des essais que j'ai faits sur le fanage du trèfle montrent effectivement combien cette proportion varie suivant l'âge de la plante, la nature du terrain, et surtout selon les conditions météorologiques pendant lesquelles les coupes ont eu lieu. On en jugera par quelques exemples pris sur des soles de deuxième année.

			k
17 mai.	1re coupe avant la floraison : 1 000 kil. de foin ont donné		212
3 juin.	1re coupe, en fleur :	*Idem*............	288
5 juin (autre localité).	1re coupe en fleur :	*Idem*............	305
28 juillet.	2e coupe, en fleur :	*Idem*............	290
Août.	2e coupe; très-avancé en fleur, très-ligneux :	*Idem*....	360

Ajoutons encore que, pendant le fanage, le trèfle subit une perte assez considérable par suite des feuilles et des fleurs qui se détachent et qui ne sont pas recueillies lors du bottelage; cette perte porte précisément sur les parties les plus substantielles.

Pour parer aux causes d'erreur que je viens de signaler, et afin d'obtenir des résultats comparables, j'ai disposé l'expérience de tel mode que le fourrage sec consommé représente rigoureusement celui que donnerait le fourrage vert employé comparativement; mais, comme il est alors nécessaire de faner continuellement, opération qui devient embarrassante quand on agit sur une masse considérable de trèfle, je mis en observation un seul animal, une génisse âgée d'environ dix mois.

La génisse était pesée à jeun. On lui donnait une ration de fourrage vert un peu moins forte que l'était celle qu'elle consommait habituellement, afin que la nourriture fût prise en totalité dans les vingt-quatre heures; puis, au moment où la ration verte était placée dans la crèche, on en prenait une autre exactement semblable en poids et en nature, que l'on fanait immédiatement en s'entourant de toutes les précautions convenables pour empêcher la déperdition des parties qui se détachaient de la plante pendant la dessiccation; cette ration fanée était conservée dans un sac portant le n° 1. Le deuxième jour, on agissait de la même manière, réservant encore pour le fanage une quantité de fourrage exactement pareille à celle qui devait être mangée en vert, et cette ration sèche était resserrée sous le n° 2, et ainsi de suite.

La génisse restait au vert pendant dix jours. Le onzième

Deuxième série. — Dans l'intervalle de la première à la deuxième série, la génisse a été nourrie à discrétion.

JOURS d'observations.	TRÈFLE vert consommé.		JOURS d'observations.	NUMÉROS d'ordre du fourrage.	TRÈFLE fané consommé.
	k				k
1er jour....	22,5	La génisse a pesé 306 k.	11e jour...	1	5,98
2e jour....	25,0		12e jour...	2	5,89
3e jour....	27,5		13e jour...	3	6,73
4e jour....	26,0		14e jour...	4	6,48
5e jour....	25,0		15e jour...	5	8,70
6e jour....	25,0		16e jour...	6	7,91
7e jour....	24,0		17e jour...	7	7,12
8e jour....	30,0		18e jour...	8	8,53
9e jour...	27,5		19e jour...	9	8,69
10e jour...	25,0		20e jour...	10	8,60
En dix jours.	257,5		En dix jours........		74,63

Le 11e jour, la génisse a pesé 301 kilogrammes. Le 21e jour, à jeun, la génisse a pesé 308 kilogrammes.

Troisième série. — Regain de foin de prairie.

JOURS d'observations.	REGAIN consommé.		JOURS d'observations.	NUMÉROS d'ordre du fourrage.	REGAIN fané consommé.
	k				k
1er jour....	41,0	La génisse a pesé 329 k.	11e jour...	1	8,78
2e jour....	41,0		12e jour...	2	6,89
3e jour....	40,0		13e jour...	3	8,16
4e jour....	40,0		14e jour...	4	7,89
5e jour....	41,0		15e jour...	5	10,68
6e jour....	42,0		16e jour...	6	9,13
7e jour....	43,0		17e jour...	7	8,92
8e jour....	41,5		18e jour...	8	8,07
9e jour....	42,0		19e jour...	9	9,05
10e jour....	42,5		20e jour...	10	10,13
En dix jours.	414,0		En dix jours.......		87,70

Le 11e jour, la génisse a pesé 333 kilogrammes. Le 21e jour, à jeun, la génisse a pesé 343k,5.

Résumé des observations.

Première série.

Poids initial de la génisse	270 kil.
Après le régime vert	267
Perte occasionnée par le régime vert	3
Après le régime du même fourrage fané	272
Gain occasionné par le régime sec	5

Deuxième série.

Poids initial de la génisse	306 kil.
Après le régime vert	301
Perte occasionnée par le régime vert	5
Après le régime du même fourrage fané	308
Gain occasionné par le régime sec	7

Troisième série.

Poids initial de la génisse	329 kil.
Après le régime vert	333
Gain occasionné par le régime vert	4
Après le régime du même fourrage sec	343,5
Gain occasionné par le régime sec	10,5

Avant de tirer une conclusion, il importait de savoir quelle était l'étendue des variations accidentelles dans le poids de l'animal mis en observation. Plusieurs pesées consécutives, faites chaque jour et à la même heure, ont montré que la plus grande différence atteignait 6 kilogrammes. Ainsi, une différence de cet ordre ne saurait être sûrement attribuée à l'influence de l'alimentation, puisqu'elle est comprise dans la limite des variations de poids accidentelles.

On remarquera que les gains constatés à la suite de la substitution de la ration sèche à la ration verte ont été 5, 7 et $10^{kil},5$, résultats qui sont de nature à faire présumer qu'une même quantité de fourrage nourrit plus quand elle a été fanée; mais, en présence d'expériences aussi peu nombreuses, il serait prématuré de tirer une semblable conclusion. Ce que ces expériences semblent établir avec quelque certitude, c'est qu'un poids donné de fourrage sec ne nourrit pas moins le bétail que la quantité de fourrage vert qui l'a fourni.

MEMOIRE

Sur l'éther chloroformique de l'alcool et sur les produits qui en dérivent;

PAR M. S. CLOEZ.

(Communiqué à l'Académie des Sciences, le 7 juillet 1845.)

Les travaux remarquables de M. Regnault sur les éthers chlorés, ceux non moins intéressants de M. Malaguti, relatifs aux produits dérivés de l'action du chlore sur quelques éthers composés, et notamment sur l'éther oxalique, ont depuis longtemps fixé profondément l'attention des chimistes, et ont donné lieu à plusieurs recherches analogues, dont les plus importantes ont été faites successivement par MM. Laurent, Cahours et F. Leblanc.

Le travail dont j'ai l'honneur de soumettre les résultats au jugement de l'Académie, a pour objet de combler une lacune qui existe dans l'histoire de l'acide formique. Cet acide, en présence du chlore, ne donne pas l'acide chloré correspondant à l'acide chloracétique de M. Dumas; il se transforme entièrement, au bout de quelque temps, en gaz carbonique et chlorhydrique. Ce résultat pouvait être facilement prévu, d'après la composition de l'acide formique; l'égalité suivante explique la réaction :

$$C^2HO^3, HO + 2Cl = 2(CO^2) + 2(HCl)$$ [*].

La décomposition de l'acide formique est la même, si une base métallique est mise à la place de l'eau qu'il contient, ou un métal à la place de l'hydrogène, ce qui re-

---

[*] L'action du chlore dans cette circonstance est analogue à celle que le même agent exerce sur l'alcool pur. On sait qu'il transforme ce liquide d'abord en aldéhyde au moyen de l'oxygène de l'eau décomposée; on obtient même de l'acide acétique si le gaz n'est pas bien sec ou si l'alcool contient plus de 1 équivalent d'eau. M. Regnault, dans les conclusions qu'il donne à la fin de ses belles recherches sur les éthers chlorés, a beaucoup insisté sur ce fait, que le chlore en présence de l'eau agit généralement sur les substances organiques comme corps oxydant, et qu'il détermine le plus souvent dans ce cas la substitution de l'oxygène à la place de l'hydrogène.

vient au même. On a, en effet,

$$C^2HO^3MO + 2Cl = 2(CO^2) + HCl + MCl.$$

Parmi les composés dans lesquels on peut admettre l'existence de l'acide formique, il ne restait que les éthers de cet acide, sur lesquels je pouvais tenter avec quelque chance de succès l'action du chlore. J'ai commencé mes expériences sur l'éther formique de l'alcool, avec l'intention de les poursuivre sur celui de l'esprit-de-bois; les résultats curieux que j'ai obtenus avec le premier de ces corps ont beaucoup élargi la base de mon travail, tel que je l'avais conçu dans le principe.

Il y a déjà longtemps que M. Malaguti a fait voir que l'éther formique de l'alcool peut, sous l'influence du chlore et à la lumière diffuse, perdre 2 équivalents d'hydrogène qui se dégage à l'état d'acide chlorhydrique, et prendre à la place une proportion équivalente du corps réagissant; de sorte que l'on a

$$C^6H^6O^4 + 4Cl = C^6(H^4Cl^2)O^4 + 2(HCl).$$

Il y aurait eu témérité à moi de chercher à contrôler les résultats de M. Malaguti, je n'ai donc pas essayé d'obtenir l'éther bichloroformique; je ne me suis pas arrêté non plus aux autres composés plus chlorurés, que l'on obtiendrait sans aucun doute en ménageant convenablement l'action du chlore : ces produits doivent présenter peu d'intérêt, et il est, du reste, excessivement difficile de les avoir bien purs. Toute mon attention s'est portée sur le produit final de l'action du chlore sur l'éther formique.

Le liquide qui a servi à mes expériences a été préparé avec les plus grands soins; il a été chloruré comme tous les composés analogues. Lorsque le chlore n'a plus été absorbé au soleil, j'ai distillé le produit avec ménagement, et après avoir chassé préalablement l'excès de chlore et l'acide chlorhydrique, au moyen d'un courant d'acide carbonique sec.

L'éther formique chloré ainsi obtenu a donné à l'analyse les nombres suivants :

I. 0gr,801 de matière brûlée par l'oxyde de cuivre ont donné 0,007 d'eau et 0,380 d'acide carbonique.

II. 0gr,741 du même produit ont fourni 2,245 de chlorure d'argent.

Ce qui fait, en centièmes :

	Expérience.	Calcul.
Carbone	12,9	13,00
Chlore	74,7	75,00
Oxygène	12,4	12,00
	100,0	100,00

Ces nombres conduisent bien à la formule brute

$$C^6 Cl^6 O^4,$$

correspondante à celle de l'éther formique

$$C^2HO^3, C^4H^5O = C^6H^6O^4.$$

L'éther formique perchloré est un liquide incolore, doué d'une odeur forte et suffocante ; sa saveur est d'abord âpre et désagréable ; en en mettant une gouttelette sur le bout de la langue, il ne tarde pas à se décomposer et devient d'une acidité insupportable. Sa densité à l'état liquide est égale à 1,705 à + 18 degrés ; il bout vers 200 degrés, et il est volatil sans décomposition lorsqu'il est bien pur ; s'il retient quelque matière étrangère, il reste dans le vase distillatoire un léger dépôt charbonneux, et les dernières portions distillées prennent une couleur ambrée ; cette altération partielle que la chaleur fait éprouver à l'éther chloroformique qui n'est pas chimiquement pur, m'a empêché pendant longtemps de déterminer la densité de sa vapeur ; ayant obtenu un échantillon qui ne présentait plus ce grave inconvénient, j'ai pu m'en servir pour faire une expérience dont voici les données :

Température de l'air	18°
Température de la vapeur	240°
Pression barométrique	759mm
Excès de poids de la vapeur	1,981
Capacité du ballon	375cc
Air restant	7cc

d'où l'on déduit :

Poids du litre	12,103
Densité de la vapeur	9,13
Densité calculée $= \frac{38,752}{4} =$	9,688

On peut admettre, d'après ces nombres, que l'éther formique perchloré a conservé le mode de condensation de l'éther formique ordinaire; nous aurons l'occasion, dans un autre travail, de remarquer que pour certains éthers simples ou composés, le mode de condensation primitif n'existe plus, quand tout l'hydrogène a été chassé et remplacé équivalent à équivalent par du chlore.

L'éther formique perchloré est décomposable par la chaleur; en faisant passer sa vapeur à travers un tube de porcelaine chauffé à peine au rouge, on obtient deux produits bien distincts: l'un est un gaz qu'il est facile de reconnaître pour de l'acide chloroxicarbonique; l'autre, au contraire, est un liquide incolore qui présente toutes les propriétés de l'aldéhyde chloré de M. Malaguti.

Exposé au contact de l'air humide ou de l'eau, il se décompose et s'acidifie promptement; les produits formés sont de l'acide chloracétique, de l'acide chlorhydrique et de l'acide carbonique. Tous ces corps sont aisés à reconnaître, et j'ai pu constater leur formation; la réaction est facile à suivre. En effet, l'on a

$$C^6 Cl^6 O^4 + 4(HO) = C^4 Cl^3 O^3 HO + 2(CO^2) + 3(HCl).$$

Avec les alcalis minéraux en dissolution, la réaction est la même; il se fait un chloracétate, un chlorure et un carbonate.

L'ammoniaque gazeuse ou en dissolution donne lieu à une réaction très-nette et fort curieuse; quand on laisse tomber goutte à goutte de l'éther perchloroformique dans une solution aqueuse d'ammoniaque, à chaque goutte qui tombe on entend un bruissement semblable à celui que fait un fer rouge qu'on plonge dans l'eau; il y a développement de chaleur, et l'on voit se former aussitôt un dépôt blanc abondant, composé de deux matières: l'une soluble dans l'eau; c'est du sel ammoniac; l'autre, au contraire, insoluble dans ce liquide, se dissolvant très-bien dans l'éther

et pouvant cristalliser par évaporation, ce qui m'a permis de l'obtenir tout à fait pure et de la soumettre avec confiance à l'analyse. Voici les résultats que j'ai obtenus :

I. $0^{gr},542$ de matière brûlée par l'oxyde de cuivre ont donné 0,063 d'eau et 0,289 d'acide carbonique.

II. $0^{gr},557$ du même produit ont fourni 1,494 de chlorure d'argent.

III. $0^{gr},934$ du même produit ont donné 73 centimètres cubes d'azote saturé d'humidité à 19 degrés et sous la pression de 756 millimètres.

Ces résultats, traduits en centièmes, donnent :

	Trouvé.	Rapport.	Calculé.
Carbone..........	14,5	4	14,7
Hydrogène........	1,2	2	1,2
Chlore...........	66,0	3	65,5
Azote............	9,0	1	8,8
Oxygène..........	9,3	2	9,8
	100,0		100,0

Les propriétés chimiques de cette substance, sa formation et sa composition doivent la faire considérer comme l'amide de l'acide chloracétique de M. Dumas; je lui donne pour cette raison le nom de *chloracétamide*. On peut la représenter par les formules équivalentes suivantes :

$$C^4Cl^3O^2AzH^2, \qquad C^4(Cl^3AzH^2)O^2.$$

La formation de la chloracétamide, au moyen de l'éther perchloroformique, est d'autant plus remarquable, qu'elle était tout à fait imprévue; elle offre un exemple du passage de la série formique dans la série acétique, chose assez rare dans les métamorphoses des substances organiques, tandis que l'inverse a lieu fréquemment.

La réaction dans laquelle la chloracétamide prend naissance est facile à interpréter; en admettant qu'il y a élimination d'acide chlorhydrique et de gaz phosgène, on a l'égalité

$$\underset{\text{Éther chloroformiq.}}{C^4Cl^6O^4} + \underset{\text{Ammoniaq.}}{AzA^3} = \underset{\text{Chloracétamide.}}{C^4Cl^3O^2AzH^2} + HCl + \underset{\text{Gaz chloroxicarboniq.}}{2(CClO)}.$$

Cette équation suppose qu'on opère avec du gaz ammo-

niac sec, en quantité seulement suffisante pour opérer la décomposition indiquée; mais si le gaz ammoniac arrive en excès dans l'éther chloré, outre la chloracétamide, on obtient du sel ammoniac et la carbamide de M. Regnault.

Si l'on opère au sein de l'eau, la carbamide ne peut plus prendre naissance, le gaz phosgène se décomposant, dans cette circonstance, en acides chlorhydrique et carbonique.

L'alcool et l'esprit-de-bois décomposent l'éther perchloroformique de la même manière que la chaleur, l'eau et les alcalis; si l'on verse peu à peu cet éther dans l'un ou l'autre de ces liquides, il disparaît promptement et produit une élévation de température quelquefois assez considérable pour porter toute la masse jusqu'à l'ébullition; si l'on ajoute de l'eau après que la réaction est terminée, on voit le liquide se séparer en deux couches; celle qui surnage ne contient que de l'acide chlorhydrique en dissolution dans l'eau et l'excès d'alcool ou d'esprit-de-bois que l'on a dû employer; la couche inférieure présente un liquide oléagineux, qui paraît homogène, mais qui contient en réalité deux composés distincts, dont la nature est facile à prévoir, d'après ce que nous savons déjà des propriétés de l'éther perchloroformique.

On peut par la distillation séparer ces deux liquides, dont le point d'ébullition est assez éloigné; les premières portions distillées doivent être recueillies à part, ainsi que les dernières; elles sont presque assez pures pour être soumises à l'analyse.

J'ai fait plusieurs combustions des produits de l'action de l'alcool sur l'éther perchloroformique; je crois inutile de donner ici les résultats numériques de ces analyses, qui s'accordent parfaitement entre elles. J'ai reconnu que la partie du liquide recueillie la première, entre 95 et 100 degrés, a exactement la composition de l'éther chloroformique, que l'on a improprement appelé éther *chloroxicarbonique*. Quant à la partie la moins volatile, celle qui a

passé entre 160 et 165 degrés, elle a la composition et les propriétés de l'éther chloracétique de M. Dumas. La réaction qui donne lieu à ces composés est aisée à comprendre; l'égalité suivante la met en évidence :

$$C^6Cl^6O^4 + 2(C^4H^6O^2) = C^4Cl^3O^3C^4H^5O + C^2ClO^3C^4H^5O + 2(HCl).$$

Éther perchlorof. **Alcool.** **Éther chloracétique.** **Éther chloroformique.**

L'esprit-de-bois se comporte de la même manière que l'alcool.

Les éthers chloroformique et chloracétique de l'alcool ou de l'esprit-de-bois à l'état de mélange peuvent être reconnus, sans qu'il soit nécessaire de recourir à l'analyse; la manière dont ils se comportent avec l'ammoniaque liquide permet toujours de constater leur présence. L'éther chloracétique donne avec cet alcali une amide insoluble, identique avec celle dont j'ai indiqué ci-dessus la formation par l'éther perchloroformique et l'ammoniaque; c'est la chloracétamide. L'éther chloroformique de l'alcool ou de l'esprit-de-bois se décompose, sous l'influence du même agent, en uréthane ou en uréthylane, en même temps qu'il y a formation de sel ammoniac. Cette réaction curieuse a été observée pour la première fois par MM. Dumas et Peligot. La préparation de l'éther chloroformique au moyen de l'acide chloroxicarbonique est d'une exécution longue et difficile; on l'obtient, au contraire, très-facilement et en grande quantité, avec l'éther formique perchloré; on l'aurait probablement tout à fait pur avec le formiate de méthylène perchloré: ce corps, s'il peut être obtenu, est isomère avec l'acide chloroxicarbonique.

Les propriétés de l'éther perchloroformique nous permettent de le considérer comme un composé peu stable, qui, sous l'influence de quelques agents physiques et chimiques, se détruit en donnant toujours deux nouveaux corps, dont l'un appartient à la série acétique, tandis que l'autre se range dans la série formique. A la tête de chaque série viennent se placer les produits de l'action de la cha-

leur, savoir l'aldéhyde chloracétique de M. Malaguti, et le gaz phosgène que M. Cahours regarde comme étant l'aldéhyde chloroformique. L'acide chloracétique, la chloracétamide et l'éther chloracétique viennent à la suite de l'aldéhyde chloré. La carbamide, l'éther chloroformique et les acides carbonique et chlorhydrique sont les produits de décomposition du gaz phosgène, qui doit être, par conséquent, placé à leur tête.

Chloracétamide.

La production de la chloracétamide au moyen de l'éther perchloroformique faisait prévoir qu'on pourrait l'obtenir avec l'éther perchloracétique de M. Leblanc; si l'on fait réagir 4 équivalents d'ammoniaque sur 1 équivalent d'éther perchloracétique, la théorie indique que l'on doit avoir 2 équivalents de chloracétamide et 2 équivalents de sel ammoniac; c'est un point que l'égalité suivante met en évidence:

$$C^8 Cl^8 O^4 + 4 (Az H^3) = 2 (C^4 Cl^3 O^2 Az H^2) + 2 (Az H^4 Cl).$$

L'expérience a été tentée et mes prévisions se sont trouvées complétement réalisées. Nous avons déjà vu ailleurs qu'on obtenait aussi cette substance au moyen de l'éther chloracétique de M. Dumas.

Quel que soit le procédé que l'on ait suivi pour la préparer, la chloracétamide se présente toujours sous la forme de paillettes cristallines nacrées et d'une grande blancheur; les cristaux isolés, qui se déposent lentement d'une dissolution éthérée, ont la forme de prismes aplatis à bases rhomboïdales. Elle a une odeur aromatique assez agréable, sa saveur est sucrée; soumise à l'action de la chaleur, elle fond à 135 degrés, une petite quantité se volatilise et se sublime dans la partie froide du tube avant de fondre; elle distille, sans altération sensible, à une température supérieure à 230 degrés; il ne reste qu'un léger dépôt dans le vase distillatoire.

L'air ne l'altère pas; elle est insoluble dans l'eau, assez soluble dans l'alcool et très-soluble dans l'éther.

Le chlore paraît être sans action sur la chloracétamide, même sous l'influence de la radiation solaire; mais si l'on ajoute de l'eau, de manière à mouiller à peine la masse, on voit, au bout de deux ou trois jours, les parois du vase se couvrir de longs prismes aciculaires dont nous parlerons plus loin.

La chloracétamide broyée avec de la potasse ne laisse pas dégager d'ammoniaque; en la faisant bouillir avec un alcali en dissolution, elle perd tout son azote à l'état d'ammoniaque; il reste dans la liqueur un chloracétate, qui se décompose si l'on continue l'ébullition pendant longtemps, en donnant du formiate et du chloroforme.

L'ammoniaque liquide la dissout lentement à froid et rapidement à chaud; en évaporant la dissolution dans le vide, au-dessus de l'acide sulfurique, on obtient des cristaux assez volumineux, que j'ai analysés et auxquels j'ai trouvé la composition du chloracétate d'ammoniaque.

L'acide nitrique étendu la dissout comme l'ammoniaque. La dissolution évaporée ne laisse non plus que du chloracétate d'ammoniaque; on voit que, sous le rapport de ses réactions, la chloracétamide se comporte comme les amides les mieux caractérisées.

Action du chlore sur la chloracétamide.

J'ai déjà dit que, sous l'influence simultanée du chlore et d'une petite quantité d'eau, la chloracétamide se transforme, au bout de quelque temps, en un nouveau produit cristallisé qui tapisse les parois du flacon dans lequel se fait la réaction. Les cristaux, recueillis et purifiés convenablement, ont fourni à l'analyse les résultats suivants :

I. $0^{gr},380$ de matière brûlés par l'oxyde de cuivre ont donné 0,169 d'acide carbonique et 0,028 d'eau.

II. $0^{gr},391$ de matière ont donné 1,131 de chlorure d'argent.

III. 0gr,563 de la même matière ont fourni 34 centimètres cubes de gaz azote saturé d'humidité à 18 degrés et sous la pression de 761 millimètres.

Ces nombres, traduits en centièmes, conduisent à la formule

$$C^4 Cl^4 O^2 Az H.$$

On a, en effet :

		Trouvé.	Calculé.
4 équivalents de carbone......	300,00	12,1	12,3
4 équivalents de chlore.......	1768,00	71,4	71,9
2 équivalents d'oxygène.......	200,00	8,7	8,1
1 équivalent d'azote...........	177,00	7,0	7,2
1 équivalent d'hydrogène......	12,50	0,8	0,5
	2457,50	100,0	100,0

Cette formule ne diffère de celle de la chloracétamide que par 1 équivalent de chlore en plus et 1 équivalent d'hydrogène en moins ; il est à remarquer que les éléments de l'eau, sans laquelle la chloruration de la chloracétamide paraît ne pas pouvoir se faire, n'interviennent nullement dans la réaction.

La substance nouvelle qui se forme dans les circonstances que j'ai indiquées se dissout à froid dans l'ammoniaque et les bases alcalines minérales, en donnant des combinaisons cristallisées qui doivent être considérées comme des sels ; elle joue, par conséquent, le rôle d'acide par rapport à ces bases. Je lui donne le nom d'*acide chloracétamique,* en raison de son origine.

L'acide chloracétamique se présente sous la forme de prismes aiguillés quelquefois très-longs ; il est incolore et presque inodore, sa saveur est très-désagréable ; il fond quand on le chauffe, et peut distiller en partie sans se décomposer ; l'air ne l'altère pas ; il est insoluble dans l'eau, assez soluble dans l'alcool et l'esprit-de-bois, et très-soluble dans l'éther.

La dissolution ammoniacale de l'acide chloracétamique, évaporée dans le vide, laisse une matière blanche amorphe, susceptible de prendre une certaine quantité d'eau à l'atmosphère et de se transformer ainsi en paillettes cristallines

très-brillantes que je considère comme du *chloracétamate d'ammoniaque hydraté*. La dissolution aqueuse de ce sel est neutre aux réactifs ; elle ne précipite pas le nitrate d'argent ni les sels de plomb.

La potasse en dissolution dans l'eau dissout à froid l'acide chloracétamique sans le décomposer ; par l'évaporation de la liqueur, on obtient le chloracétamate de potasse ; lorsqu'on chauffe la dissolution, tout l'azote de l'acide s'en va à l'état d'ammoniaque ; on ne retrouve dans la liqueur que du chlorure et du carbonate. L'équation suivante explique suffisamment leur réaction :

$$C^4Cl^4O^2AzH + 8(KO) + 2(HO) = AzH^3 + 4(KCl) + 4(CO^2KO).$$

L'acide carbonique se forme ici aux dépens de l'oxygène contenu dans l'acide chloracétamique, et de celui qui provient de l'eau et de la potasse nécessaires à la réaction.

Action du chlore sur l'éther acétique de l'alcool et sur celui de l'esprit-de-bois (1).

Un examen préalable de l'éther acétique chloré, que je destinais à la préparation de la chloracétamide, m'a conduit à constater, dans ce liquide, des propriétés différentes de celles qui lui ont été assignées par M. Leblanc (*Annales de Chimie et de Physique,* 3e série, tome X, page 197). J'ai dû, par suite, le soumettre à une étude plus approfondie ; ce sont les résultats de mes recherches sur ce sujet qui font en partie l'objet de ce Mémoire.

La divergence que mes résultats présentent avec ceux de M. Leblanc est probablement due à la manière d'opérer ; j'ai cherché à me placer dans les conditions les plus favorables pour être à l'abri de l'humidité, qui est la cause principale de l'altération des produits de la nature de celui que

(1) Cette partie de mon Mémoire a été lue à l'Académie des Sciences le 13 octobre 1845.

je voulais examiner. L'éther acétique que j'ai employé était d'ailleurs chimiquement pur; je m'en suis assuré en prenant son point d'ébullition et en en soumettant une portion à l'analyse élémentaire. Je l'ai placée dans une cornue bien sèche munie d'un récipient, et j'ai fait arriver lentement un courant de chlore parfaitement sec; lorsque ce gaz n'a plus été absorbé à la lumière diffuse, j'ai transporté l'appareil au soleil, en continuant le dégagement du chlore. La chloruration a été enfin terminée dans de grands flacons bouchés en verre et sous l'influence d'une forte insolation.

J'ai remarqué, comme M. Leblanc, que l'on a beaucoup de peine à chasser le dernier équivalent d'hydrogène; mais je n'ai pas obtenu une trace de chlorure de carbone, que le même chimiste a eu en grande quantité.

Le liquide retiré des flacons a été débarrassé de l'acide chlorhydrique et de l'excès de chlore qu'il pouvait tenir en dissolution, au moyen d'un courant rapide de gaz carbonique bien sec; sa distillation a eu lieu ensuite dans un courant du même gaz. J'ai cessé de chauffer au moment où la petite portion qui restait dans la cornue a commencé à se colorer.

Mes premières expériences m'avaient fait voir que le point d'ébullition du produit, déjà distillé une première fois, s'élevait peu à peu de 105 à 280 degrés (1); j'ai pensé dès lors que j'avais affaire à un mélange: pour m'en assurer, je l'ai soumis à une nouvelle distillation, en évitant avec le plus grand soin l'accès de l'humidité. Un thermomètre plongeant dans la cornue m'a permis de fractionner les produits bouillants à des températures différentes; la

(1) Dans son travail sur les produits chlorés dérivés de l'éther acétique de l'alcool, M. Leblanc a déjà signalé la variation du point d'ébullition du liquide le plus chloruré; la portion qui distille au-dessous de 200 degrés n'est en grande partie, selon ce chimiste, que du chlorure de carbone; il recommande, par conséquent, de la rejeter, et de ne recueillir que la partie volatile au-dessus de 200 degrés.

moitié environ du liquide a passé entre 105 et 125 degrés, je l'ai recueillie et mise à part; la portion distillée entre 130 et 180 degrés a été également mise de côté, ainsi que celle dont le point d'ébullition s'est élevé de 180 à 270 degrés.

Chacun de ces produits a été analysé séparément: je donne d'abord les résultats que j'ai obtenus; j'en déduirai ensuite les conséquences.

I. 0gr,853 du liquide bouillant entre 110 et 120 degrés ont donné 0,404 d'acide carbonique et 0,005 d'eau; 0,642 du même produit ont fourni 2,019 de chlorure d'argent.

II. 1gr,024 du liquide bouillant entre 130 et 180 degrés ont donné 0,517 d'acide carbonique et 0,021 d'eau; 0,360 du même liquide ont donné 1,129 de chlorure d'argent.

III. 0gr,966 du dernier produit distillé au-dessus de 200 degrés ont fourni 0,520 d'acide carbonique et 0,022 d'eau; 0,324 du même produit ont donné 1,001 de chlorure d'argent.

D'où, en traduisant ces nombres en centièmes:

	I.	II.	III.
Carbone	13,20	13,70	14,50
Hydrogène	0,06	0,22	0,27
Chlore	77,60	76,90	76,20
Oxygène	9,14	"	"
	100,00		

Le calcul donne pour la formule

$$C^4 Cl^8 O^4,$$

ou mieux,

$$C^4 Cl^4 O^2.$$

Carbone	13,2
Chlore	77,9
Oxygène	8,9
	100,0

L'examen comparatif des nombres qui représentent les quantités respectives de carbone, d'hydrogène et de chlore existant dans chacun des liquides analysés, avec ceux que donne le calcul, indique clairement que le produit le plus chloruré et le plus volatil n'est pas du chlorure de car-

bone, et son point d'ébullition fait voir qu'il n'a pas dû conserver le mode de condensation de l'éther acétique; ses molécules se sont écartées, et il y a eu dédoublement, c'est-à-dire formation d'aldéhyde perchloré. Ce résultat n'a rien qui doive étonner; il est tout à fait semblable à celui que M. Regnault a obtenu avec l'éther méthylique perchloré.

Les liquides bouillants à une température supérieure à 125 degrés doivent être, d'après cela, considérés comme des mélanges d'aldéhyde chloré avec une petite quantité d'éther acétique à 7 équivalents de chlore; les résultats de mes analyses autorisent cette manière de voir.

La détermination de la densité de vapeur du liquide le plus volatil était nécessaire pour dissiper mes derniers doutes sur sa nature; le nombre que j'ai obtenu n'est pas exactement celui que donne le calcul, mais il en approche beaucoup; la différence doit être attribuée à la difficulté extrême qu'il y a de se mettre entièrement à l'abri de l'humidité et d'empêcher que la matière ne s'altère en partie.

Voici les données de l'expérience :

Température de l'air...........	17°,5
Température de la vapeur.......	210°
Excès de poids de la vapeur.....	0,900
Capacité du ballon.............	197cc
Baromètre.....................	0m,761
Air restant....................	2cc

d'où l'on déduit :

Poids du litre.................	9,774
Densité de la vapeur...........	7,52

$$\text{Densité calculée} = \frac{25,100}{4} = 6,28.$$

Le liquide que j'ai examiné a d'ailleurs toutes les propriétés de l'aldéhyde chloré de M. Malaguti; exposé au contact de l'air, il répand des vapeurs blanches d'une odeur suffocante : l'humidité le décompose au bout de quelque temps et donne lieu à de beaux cristaux d'acide chloracétique; il donne immédiatement de la chloracétamide quand

on le met en contact avec l'ammoniaque (1). Cette réaction fournit un moyen aussi prompt que sûr pour reconnaître, sans avoir recours à l'analyse, si la chloruration de l'éther acétique est complète; tant qu'il reste de l'hydrogène, la chloracétamide se forme difficilement, et elle est toujours souillée d'une matière huileuse qui tache le papier. Cette remarque est applicable aussi à l'éther formique perchloré, qui se prépare d'ailleurs beaucoup plus facilement.

Acétate de méthylène perchloré.

L'action du chlore sur l'éther acétique de l'esprit-de-bois était sous plus d'un rapport intéressante à examiner. Ce liquide a exactement la même composition centésimale que l'éther formique de l'alcool; sa densité de vapeur est sensiblement la même, et son point d'ébullition est à peine différent. Si les propriétés physiques de ces deux liquides les rapprochent à ce point qu'on pourrait les confondre, leurs propriétés chimiques permettent toujours de les distinguer facilement. Leur décomposition sous l'influence des alcalis les caractérise suffisamment : l'un donne, dans ce

---

(1) L'éther acétique chloré, ou mieux l'aldéhyde chloré $C^4Cl^4O^2$, traité par l'hydrogène phosphoré PhH^3, donne un produit cristallisé, que l'on doit considérer comme une nouvelle espèce d'amide de l'acide chloracétique, contenant du phosphore à la place de l'azote; je donne provisoirement à cette substance le nom de *chloracéthyphide*; sa formation a lieu d'après l'égalité

$$C^4Cl^4O^2 + PhH^3 = C^4Cl^3O^2PhH^2 + HCl.$$

La même matière prend naissance quand on fait passer l'hydrogène phosphoré dans l'éther perchloroformique; mais, dans ce cas, il y a dégagement de gaz chloroxicarbonique.

La chloracéthyphide est une matière blanche, en petites paillettes cristallines très-légères; son odeur est légèrement alliacée, elle a une saveur un peu amère; l'air ne l'altère pas; quand on la chauffe au contact de l'air, elle se décompose, en laissant un résidu charbonneux et de l'acide phosphorique; elle est insoluble dans l'eau et se dissout en petite quantité dans l'alcool, l'éther et l'esprit-de-bois. Je me propose d'examiner plus amplement cette matière aussitôt que j'en aurai une quantité suffisante.

cas, de l'acide acétique et de l'esprit-de-bois, tandis que l'autre se décompose en acide formique et en alcool. J'ai voulu voir si la différence que l'on remarque dans les propriétés chimiques se retrouverait dans les produits dérivés que ces éthers donnent sous l'influence du chlore.

L'éther perchloroformique présentant une composition constante et des réactions nettes que j'ai étudiées spécialement, j'ai cherché à obtenir un composé analogue avec l'acétate de méthylène. J'ai opéré de la même manière et avec les mêmes précautions que pour les autres éthers chlorés, dont j'ai fait l'histoire; je crois pouvoir me dispenser de répéter ce que j'ai dit à cet égard. Le produit, purifié par la distillation, a fourni à l'analyse les résultats suivants:

I. 1gr,094 de matière ont donné 0,549 d'acide carbonique et 0,012 d'eau.
II. 0gr,357 du même produit ont fourni 1,076 de chlorure d'argent.

On en déduit :

	Expérience.	Calcul.
Carbone...........	13,60	13
Hydrogène........	0,12	0
Chlore............	74,50	75
Oxygène..........	11,88	12
	100,00	100

Ainsi, l'acétate de méthylène peut, comme l'éther formique de l'alcool, perdre tout son hydrogène sous l'influence du chlore, et prendre à la place une proportion équivalente de cet élément.

Le liquide examiné présente tous les caractères de l'éther formique perchloré; sa densité, prise à 18 degrés, a été trouvée égale à 1,691 ; il bout vers 200 degrés, et si l'on fait passer la vapeur dans un tube de porcelaine chauffé au rouge obscur, il se décompose en aldéhyde chloré et en gaz chloroxicarbonique.

Sous l'influence de l'humidité, il se décompose en acide chloracétique, acide chlorhydrique et acide carbonique; avec les alcalis minéraux, il donne du chloracétate, un chlo-

rure et un carbonate; l'ammoniaque le change immédiatement en chloracétamide et acide chloroxicarbonique, que l'eau décompose en acides chlorhydrique et carbonique. Il ne se forme aucun autre produit lorsque l'éther a été préparé avec soin.

Mis en contact avec l'alcool, il est décomposé de même que l'éther chloroformique; il y a formation d'acide chlorhydrique, d'éther chloracétique et d'éther chloroformique.

L'esprit-de-bois se comporte de la même manière que l'alcool.

On peut, sans avoir recours à aucune hypothèse et en se basant seulement sur les faits, admettre l'identité du produit final de l'action du chlore sur l'acétate de méthylène avec celui que l'on obtient par l'action du même agent sur l'éther formique de l'alcool; j'ai cherché en vain un caractère qui permît de les distinguer.

Si cette identité que j'admets est réelle, les conséquences qui en découlent naturellement sont intéressantes sous le point de vue théorique, en ce qu'elles ont de relatif à la question de l'existence des types chimiques et de la conservation de ces mêmes types, dans ce que l'on a appelé les produits dérivés par substitution.

Quelle que soit la manière d'envisager la constitution des éthers, on doit toujours, dans l'hypothèse de l'existence du type, obtenir, sous l'influence du chlore, des composés dérivés offrant le même arrangement moléculaire que le produit d'où l'on est parti : ainsi, si l'on adopte pour l'éther formique la formule rationnelle sous laquelle on le représente habituellement, on aura pour l'éther formique perchloré une formule semblable, dans laquelle la totalité de l'hydrogène sera remplacée par du chlore :

Éther formique.............. C^2HO^3, C^4H^5O,
Éther formique perchloré...... C^2ClO^3, C^4Cl^5O.

Dans la même manière de voir, l'acétate de méthylène

et le produit final qu'il donne sous l'influence du chlore auront respectivement pour formule :

Acétate de méthylène .... $C^4H^3O^3, C^2H^3O$,
Acétate de méthylène perchloré. $C^4Cl^3O^3, C^2Cl^3O$.

Si l'on admet la théorie des types, qui est contraire à l'opinion du dualisme des éléments dans les combinaisons, l'éther formique sera un formiate dans lequel le métal M sera remplacé par une molécule du métal imaginaire C^4H^5 que l'on a appelé *éthyle*; l'éther formique perchloré devra nécessairement présenter le même groupement moléculaire. On aura donc les formules

Formiate métallique..... $\left(\begin{array}{ll} C^2 & H \\ & M \end{array}\right) O^4$,

Éther formique.......... $\left(\begin{array}{ll} C^2 & H \\ C^4 & H^5 \end{array}\right) O^4$,

Éther formique perchloré. $\left(\begin{array}{ll} C^2 & Cl \\ C^4 & Cl^5 \end{array}\right) O^4$.

Dans la même théorie, l'acétate de méthylène et ses dérivés ne seront autre chose que des acétates dans lesquels une molécule de *méthyle* C^2H^3 aura pris la place d'une molécule M de métal; on aura donc les formules

Acétate métallique........... $\left(\begin{array}{ll} C^4 & H^3 \\ & M \end{array}\right) O^4$,

Acétate de méthylène........ $\left(\begin{array}{ll} C^4 & H^3 \\ C^2 & H^3 \end{array}\right) O^4$,

Acétate méthylique perchloré. $\left(\begin{array}{ll} C^4 & Cl^3 \\ C^2 & Cl^3 \end{array}\right) O^4$.

Ainsi, dans l'une comme dans l'autre théorie, l'éther formique perchloré a toujours une constitution différente de celle de l'acétate de méthylène perchloré, et si la conservation du type avait lieu, ces liquides devraient présenter des réactions différentes; nous avons vu que le contraire arrive.

La nature du produit final de l'action du chlore sur l'éther acétique est également, d'après mes observations, con-

traire à l'opinion de l'existence et de la conservation du type; il est évident que l'aldéhyde chloré $C^4Cl^4O^2$, que j'ai obtenu de cette manière, ne peut pas offrir le groupement moléculaire des acétates.

D'un autre côté, la formation de la chloracétamide au moyen de l'éther perchloroformique n'est pas non plus, il faut l'avouer, un argument favorable à la même opinion. C'est un fait qui ne signifierait rien s'il était isolé; joint à ceux qui précèdent, il doit avoir, il me semble, une assez grande valeur.

L'identité dans les produits dérivés de deux corps isomères, ayant une constitution différente, sous l'influence du même agent, quel qu'il soit du reste, n'a rien de surprenant; la science possède des faits de cette nature : les travaux de M. Regnault sur les éthers chlorés en fournissent un exemple remarquable et bien connu. La liqueur des Hollandais, $C^4H^3Cl + HCl$, est isomère avec l'éther chlorhydrique monochloruré $C^4H^4Cl^2$; mais l'action de la potasse sur ces corps les distingue essentiellement, et leur assigne une constitution différente : néanmoins, sous l'influence du chlore, ils se changent finalement tous les deux en un produit identique, qui est le chlorure de carbone C^4Cl^6.

La constitution chimique des éthers composés a été déjà l'objet de discussions nombreuses et approfondies, et cependant on est encore loin de s'entendre. Quelques chimistes ont cru pouvoir établir des formules, d'après la nature et les réactions des produits dérivés par l'action du chlore sur ces éthers; il est évident que ce moyen indirect de résoudre la question pourrait être excellent, si les composés chlorés ainsi obtenus jouissaient toujours de propriétés analogues à celles des espèces d'où ils dérivent, ou s'ils étaient seulement comparables entre eux; mais il n'en est pas ainsi, les faits contenus dans ce travail le prouvent assez. Il me semble, d'après cela, que l'on pourrait réfuter victorieusement les

objections que l'on a faites, dans ces derniers temps, sur la manière d'envisager les éthers composés, comme formés d'un acide et d'une base; c'est ce que j'essayerai de faire dans un prochain Mémoire, en apportant de nouveaux faits à l'appui de mon opinion.

Je crois avoir suffisamment fait ressortir le défaut d'analogie de propriétés entre certains corps chlorés et les espèces dites *normales* d'où ils dérivent; il me paraît résulter de là que l'admission des types chimiques, qui en implique nécessairement la conservation dans les produits dérivés par substitution, ne doit être considérée que comme une simple hypothèse, et ne constitue pas une théorie générale, comme les travaux récents de quelques chimistes tendraient à le faire admettre.

Cette conséquence, que je crois pouvoir déduire de mes expériences, me paraît assez importante pour être soumise à la discussion; je ne la donne ici qu'avec réserve, et je compte y revenir par la suite.

MÉMOIRE SUR LA RÉFLEXION DE LA LUMIÈRE;

PAR AUGUSTIN FRESNEL.

(Présenté à l'Académie, le 15 novembre 1819.)

La théorie des ondulations donne une idée nette et précise de ce qui constitue le poli spéculaire, comme je l'ai observé dans le premier Mémoire que j'ai eu l'honneur de soumettre à l'Académie. Il résulte, du principe des interférences, que la surface d'un miroir doit réfléchir régulièrement la lumière sous toutes les incidences, lorsque ses aspérités sont très-petites relativement à la longueur d'une ondulation lumineuse. Mais, comme les ondes lumineuses qui produisent la sensation des diverses couleurs ont des

longueurs différentes, il suit de cette définition du poli qu'elles ne doivent pas exiger toutes le même degré de petitesse dans les aspérités de la surface pour être régulièrement réfléchies; et que, relativement aux ondes rouges par exemple, qui sont les plus longues, une surface peut être encore un peu polie, lorsqu'elle ne l'est plus du tout pour les ondes violettes.

Il serait sans doute bien difficile, dans le travail d'un miroir, d'arrêter le poli à ce degré intermédiaire où il permettrait, sous l'incidence perpendiculaire, une réflexion régulière assez sensible des rayons rouges, en dispersant entièrement les rayons de l'autre extrémité du spectre. Mais il est un moyen bien simple de vérifier cette conséquence remarquable de la théorie avec un miroir seulement douci; c'est de l'incliner graduellement sur les rayons incidents. On sait que, sous des incidences très-obliques, des surfaces qui ne sont pas polies, mais seulement dressées, peuvent présenter des images régulières et brillantes des objets. La raison en est que l'obliquité diminue les différences de chemins parcourus par les rayons réfléchis sur les petites éminences ou les parties rentrantes des aspérités de la surface; et l'on conçoit aisément que, sous certaines inclinaisons, ces différences de chemins parcourus peuvent être déjà assez petites par rapport à la longueur d'une ondulation rouge, pour permettre un commencement de réflexion régulière des rayons rouges, tandis qu'elles sont encore trop grandes, par rapport aux rayons violets, pour qu'ils se réfléchissent régulièrement en quantité sensible. On obtient de cette manière, en faisant varier l'obliquité des rayons incidents, les mêmes effets qu'on obtiendrait sous l'incidence perpendiculaire en changeant progressivement le degré de poli de la surface; et l'on voit, sous une certaine inclinaison, l'image régulièrement réfléchie d'un objet blanc prendre une teinte fauve rougeâtre assez prononcée, ainsi que M. Arago et d'autres physiciens peut-être l'avaient déjà remarqué.

J'ai analysé le phénomène dans la chambre obscure en faisant tomber le spectre solaire sur des miroirs de verre et d'acier simplement doucis, et j'ai vu disparaître successivement le violet, l'indigo, le bleu et une partie du vert, en diminuant l'obliquité des miroirs; tandis que le rouge extrême, beaucoup plus obscur que le bleu et cette portion du vert dans les rayons incidents, continuait cependant à donner une image aussi distincte que celle qui résultait de la réflexion des rayons jaunes et orangés. Je n'ai pas pu parvenir à faire disparaître entièrement le vert situé près du jaune, sans anéantir en même temps tout le reste de l'image du spectre solaire. Mais on en sera peu surpris si l'on réfléchit que les ondulations vertes ne diffèrent des ondulations rouges que d'un sixième de celles-ci environ; en sorte qu'une différence de chemins parcourus, égale à une demi-ondulation verte, est bien près de produire aussi la discordance complète entre les rayons rouges.

On voit ainsi l'expérience confirmer le principe d'Huygens et celui des interférences dans toutes les conséquences que l'on en peut déduire, sans faire entrer en considération les lois d'équilibre et l'arrangement des molécules des corps sur lesquels on n'a encore aucunes notions positives. Ces seuls principes nous indiquent les lois de la diffraction, où les corps qui l'occasionnent ne jouent d'autre rôle que d'intercepter ou de retarder une portion des ondes lumineuses. Ils suffisent aussi à l'explication des lois de la réfraction et de la réflexion, soit que la surface réfléchissante ait reçu un poli parfait ou grossier, soit qu'elle ait une étendue indéfinie ou très-limitée, du moins quant à ce qui concerne la marche des rayons; car le rapport d'intensité entre le rayon incident et le rayon réfléchi sous différentes obliquités n'a pas encore été déterminé par la théorie des ondulations. Il est clair que ce rapport doit dépendre du pouvoir réfringent du milieu à la surface duquel la réflexion s'opère; mais on ignore encore la forme de la fonction qui exprime cette re-

lation. Pour résoudre ce problème difficile, il faudrait connaître d'abord toutes les causes de la réfraction, ou, ce qui revient au même, du raccourcissement des ondes lumineuses dans le milieu réfringent. Tout ce qu'on sait, c'est que chaque espèce d'ondes doit avoir évidemment la même longueur dans le même milieu, quelle que soit la direction suivant laquelle elles le traversent, si ce milieu est homogène et n'affecte pas, comme les substances cristallisées, un arrangement régulier dans ses particules. Cette constance de la longueur d'ondulation dans le même milieu suffit pour expliquer la seule loi connue de la réfraction, le rapport constant du sinus d'incidence au sinus de réfraction.

Mais quelle est la cause du raccourcissement des ondes lumineuses dans les corps denses? Est-ce seulement une plus grande densité de l'éther qu'ils contiennent, celle de leurs propres particules, ou ces deux causes à la fois?

Je n'ai pas été longtemps à douter de la justesse de la première hypothèse, que j'avais adoptée d'abord, parce qu'elle est plus facile à suivre dans ses conséquences. En songeant combien la force répulsive des molécules éthérées est considérable relativement à leur masse, j'ai pensé qu'il était peu probable que l'attraction des corps pondérables pût augmenter d'une manière sensible la densité de ce fluide; car il faut bien supposer que les particules de ces corps possèdent aussi un pouvoir répulsif, qui, d'après l'analogie, doit s'exercer plus énergiquement sur les molécules de l'éther, éminemment répulsives, que sur les molécules pondérables où cette répulsion est contre-balancée par une attraction puissante. D'ailleurs, en admettant même cette plus grande densité de l'éther dans les milieux réfringents, elle ne suffirait pas pour expliquer la dispersion du spectre solaire et la double réfraction, où la nature et l'arrangement des molécules pondérables ont une influence qu'on ne peut méconnaître.

Mais, dira-t-on, n'est-il pas possible qu'elles jouent un

rôle essentiel dans ces phénomènes secondaires, tandis que la plus grande densité de l'éther serait la cause principale de la réfraction, et par conséquent de la réflexion? C'est précisément la question que je m'étais faite depuis long-temps, et que je crois avoir résolue d'une manière négative par les expériences que je viens de terminer.

Ces deux manières différentes d'envisager la réflexion conduisent à des conséquences semblables dans plusieurs cas, par exemple relativement aux anneaux colorés.

On sait qu'une lame mince comprise entre deux milieux d'un pouvoir réfringent supérieur, telle qu'une lame d'air ou d'eau comprise entre deux verres, présente une tache noire au point de contact de ces deux milieux, c'est-à-dire dans l'endroit où son épaisseur est nulle. Les anneaux réfléchis résultant de l'interférence des deux systèmes d'ondes réfléchies à la première et à la seconde surface de la lame mince, il semblerait, au premier aperçu, qu'ils doivent se trouver d'accord au point de contact, puisque la différence des chemins parcourus y est nulle, et qu'en conséquence le centre des anneaux devrait être occupé par une tache blanche au lieu d'une tache noire. Mais un examen plus attentif de la question fait voir que ce doit être, au contraire, un point de discordance complète, quelle que soit celle des deux hypothèses qu'on adopte, sur la manière dont s'opère la réflexion.

En effet, si l'on admet que la réflexion résulte d'une plus grande densité du fluide contenu dans le milieu plus réfringent, les rayons devront être considérés comme réfléchis à la surface même qui sépare les deux milieux contigus, et par conséquent la différence des chemins parcourus par ceux réfléchis à la première et à la seconde surface de la lame mince sera exactement nulle là où son épaisseur est nulle. Mais il résulte, de la même manière d'envisager la réflexion, que l'expression de la vitesse d'oscillation des molécules éthérées, dans les ondes réfléchies à la surface de

séparation de deux milieux, diffère de signe selon que le second milieu est plus réfringent ou moins réfringent que le premier. C'est ce que M. Young avait découvert par des considérations mécaniques très-simples, et que M. Poisson a démontré depuis, d'une manière plus rigoureuse, par une analyse savante dans un beau Mémoire sur le mouvement des fluides élastiques.

Ainsi, en considérant, pour fixer les idées, le cas ordinaire d'une lame d'air comprise entre deux verres, on voit que, abstraction faite des chemins parcourus, les rayons réfléchis à la première et à la seconde surface de la lame d'air doivent différer de signe dans leur vitesse oscillatoire, puisque les premiers sont réfléchis dans un milieu plus dense à la surface d'un milieu plus rare, et les autres dans un milieu plus rare à la surface d'un milieu plus dense. Or l'opposition de signe indique des mouvements oscillatoires opposés; elle explique donc cette différence d'une demi-ondulation indépendante des chemins parcourus que présente l'expérience, et qui ainsi, loin d'être une objection contre la théorie, en est précisément une confirmation.

Cette même théorie a encore l'avantage d'annoncer d'avance le cas où la tache centrale doit devenir blanche; c'est celui où le milieu compris entre deux autres, de pouvoirs réfringents inégaux, a un pouvoir réfringent intermédiaire. Quand il est plus considérable que celui des deux milieux extrêmes, le point de contact devient noir, comme lorsqu'il est plus faible : cela est évident d'après le principe que nous venons d'énoncer.

M. Young a vérifié par l'expérience ces conséquences qu'il avait déduites de la théorie, en introduisant de l'huile de sassafras entre deux prismes légèrement convexes et pressés jusqu'au contact. Lorsque ces deux prismes sont de verre ordinaire, qui est moins réfringent que l'huile de sassafras, la tache centrale est noire; et lorsqu'un des prismes étant de verre ordinaire, l'autre est de flint-glass, milieu plus réfringent que l'huile de sassafras, cette tache est toujours blan-

che, soit que le prisme de flint-glass soit par-dessus ou par-dessous. J'ignore comment le système de l'émission pourrait rendre raison de ces phénomènes remarquables, dont l'explication est si satisfaisante dans la théorie des ondulations.

Nous venons de voir qu'ils s'accordent avec notre première hypothèse, d'après laquelle la réflexion résulterait uniquement d'une plus grande densité de l'éther des milieux réfringents. Ils se concilient aussi bien avec celle qui attribue la réflexion totale à la réunion des réflexions élémentaires sur les particules mêmes des corps.

On conçoit aisément, dans cette seconde hypothèse, pourquoi la réflexion sur les molécules propres des corps ne peut avoir lieu d'une manière sensible que dans le voisinage de leur surface, lorsque les intervalles qui séparent ces molécules sont très-petits relativement à la longueur d'une onde lumineuse; car, si l'on divise par la pensée l'intérieur du corps en couches très-minces, d'une épaisseur telle que les rayons réfléchis par les particules d'une couche quelconque se trouvent en discordance complète avec ceux que réfléchissent les deux couches entre lesquelles elle est comprise, on voit que les réflexions élémentaires que les particules de chaque couche tendent à produire, sont détruites par la moitié des rayons de la couche antérieure et de la couche suivante, excepté à la surface du milieu, où la couche extrême ne perd ainsi que la moitié de l'intensité des rayons réfléchis. Il est évident que le point de départ de la résultante de toutes les ondes élémentaires réfléchies par ses particules doit être au milieu, lorsqu'elle a assez de transparence pour que les rayons qui la pénètrent à différentes profondeurs conservent sensiblement la même intensité. Or, d'après l'épaisseur que nous avons supposée à chaque couche, les rayons réfléchis au milieu doivent différer d'un quart d'ondulation des rayons partis de ses limites. Ainsi, la résultante des ondes élémentaires réfléchies par la couche extrême, parcourt un quart d'ondulation de plus que les rayons réfléchis à la surface même du corps.

Nous avons supposé implicitement que le corps réfléchissant était dans le vide; mais, quand il est en contact avec un autre corps, les rayons réfléchis sur ses molécules dans le voisinage de sa surface, déjà réduits à moitié de leur intensité par la couche inférieure, sont encore affaiblis par la couche supérieure appartenant au corps en contact, et sont même entièrement détruits si le second milieu réfléchit autant ou plus de lumière que le premier. Dans le premier cas, il n'y a plus de lumière réfléchie; dans l'autre, ce sont les molécules du second milieu qui réfléchissent la seule lumière sensible, et c'est, en conséquence, du centre de la couche supérieure que doit être compté le chemin parcouru par la résultante des ondes élémentaires, qui diffère ainsi d'un quart d'ondulation en moins de celui parcouru par les rayons réfléchis à la surface même.

Cela posé, lorsque la lame mince est comprise entre deux milieux d'un pouvoir réfléchissant supérieur, c'est hors de cette lame que s'opèrent les deux réflexions; de telle manière que le chemin parcouru par la résultante de la réflexion supérieure est moindre d'un quart d'ondulation que celui parcouru par les rayons élémentaires réfléchis à la surface supérieure, et que le chemin parcouru par la résultante de la réflexion inférieure est plus grand d'un quart d'ondulation que celui parcouru par les rayons élémentaires réfléchis à la seconde surface. Par conséquent, l'intervalle compris entre les deux ondes résultantes doit être plus grand d'une demi-ondulation que si elles étaient parties des surfaces mêmes de la lame mince; ainsi, au point de contact des deux milieux extrêmes, où l'épaisseur de la lame intermédiaire est nulle, ces deux ondes résultantes doivent se trouver en discordance complète, et en conséquence produire une tache noire.

Lorsque le pouvoir réfléchissant de la lame mince est intermédiaire entre ceux des deux milieux extrêmes, l'une des deux réflexions a lieu en dedans de cette lame, tandis que l'autre s'opère en dehors. Il s'ensuit que la différence

d'un quart d'ondulation, entre les deux résultantes, et les rayons réfléchis aux surfaces mêmes de la lame mince, se trouve alors dans le même sens pour les deux surfaces, et qu'ainsi l'aspect du phénomène doit être le même que si ces résultantes partaient des surfaces de la lame mince; elles doivent donc être parfaitement d'accord au point où son épaisseur est nulle, et y former une tache blanche.

Enfin, lorsque la lame mince a un pouvoir réfléchissant plus grand que les deux milieux qu'elle sépare, les deux réflexions s'opèrent l'une et l'autre en dedans de la lame, et les différences d'un quart d'ondulation dont nous venons de parler, ayant lieu en sens contraires, s'ajoutent et changent ainsi d'une demi-ondulation l'intervalle qui sépare les deux systèmes d'ondes; d'où résulte une tache noire au point de contact, conformément à l'expérience.

Ces deux hypothèses sur la réflexion s'accordent ainsi dans les conséquences que nous venons d'en déduire relativement aux anneaux réfléchis. Appliquons-les maintenant aux anneaux transmis.

Les anneaux transmis résultent nécessairement de l'existence des anneaux réfléchis, et doivent en être complémentaires dans les milieux parfaitement diaphanes, par la seule raison du principe de la conservation des forces vives; car la lumière incidente, étant supposée d'une intensité uniforme, la somme des intensités des lumières, réfléchie et transmise à chaque point de la lame mince, doit être constante. Ainsi les anneaux noirs, dans la lumière transmise, doivent répondre aux anneaux brillants de la lumière réfléchie. Par conséquent, dans le cas d'une lame d'air comprise entre deux verres par exemple, le point où ils se touchent qui paraît noir, vu par réflexion, doit paraître brillant par transmission.

M. Arago s'est assuré, par une expérience ingénieuse, que les anneaux transmis, quoique beaucoup plus faibles en apparence que les anneaux réfléchis, à cause de la grande quantité de lumière blanche dans laquelle ils sont en quelque sorte noyés, les neutralisent cependant complétement

lorsqu'on les projette dessus, et qu'en conséquence ils en sont réellement complémentaires. Cette observation paraissait une objection contre l'hypothèse de M. Young, qui attribuait la formation des anneaux transmis à l'interférence des rayons directs avec ceux qui ne sortent de la lame d'air qu'après y avoir été réfléchis deux fois; mais il a démontré, par un calcul fort simple, que son hypothèse s'accordait très-bien, au contraire, avec l'observation de M. Arago. Ainsi, puisque ces deux systèmes d'ondes doivent produire des anneaux d'une intensité précisément égale à celle que présente l'expérience, il faut que l'hypothèse qu'on adoptera sur la réflexion, quelle qu'elle soit, puisse se concilier avec cette manière d'envisager la génération des anneaux transmis.

L'hypothèse suivant laquelle on considère la réflexion comme s'opérant à la surface même de séparation des deux milieux en contact, en raison de la seule différence de leurs densités, s'accorde parfaitement avec cette génération des anneaux transmis. En effet, supposons, par exemple, que la lame mince soit comprise entre deux milieux d'un pouvoir réfringent supérieur; on sait qu'en pareil cas le centre des anneaux réfléchis est noir, et celui des anneaux transmis est blanc : or c'est précisément ce qui résulte de l'hypothèse adoptée. Car, d'après cette manière de concevoir la réflexion, la vitesse d'oscillation est de même signe pour les rayons réfléchis en dedans de la lame mince que pour les rayons transmis, en la rapportant à la direction de leur marche; ainsi les rayons réfléchis, ramenés à la direction des rayons transmis par une seconde réflexion, n'en diffèrent donc qu'en raison de la différence des chemins parcourus, qui est égale au double de l'épaisseur de la lame mince sous l'incidence perpendiculaire. Au point de contact des deux milieux extrêmes, où cette épaisseur est nulle, les rayons, deux fois réfléchis, sont donc en accord parfait avec les rayons transmis directement, et, par conséquent, la tache centrale doit être blanche.

Lorsque les deux milieux extrêmes sont, au contraire, d'un pouvoir réfringent plus faible que celui de la lame mince qu'ils comprennent, la vitesse d'oscillation des ondes lumineuses, considérée dans le sens de leur marche, change de signe, il est vrai, à chaque réflexion; mais, après deux réflexions, elle reprend le même signe que dans les rayons transmis immédiatement : leur accord doit donc être encore parfait, là où la différence des chemins parcourus est nulle, c'est-à-dire au point de contact.

Enfin, quand la lame mince est d'un pouvoir réfringent supérieur à l'un des deux milieux extrêmes et inférieur à l'autre, les rayons deux fois réfléchis, ne changeant de signe qu'une fois dans leurs mouvements vibratoires, diffèrent d'une demi-ondulation des rayons directement transmis, indépendamment des chemins parcourus; en sorte que la tache centrale doit paraître noire, vue par transmission, conformément à l'expérience.

Cette manière d'envisager la génération des anneaux transmis ne se concilie pas aussi facilement avec l'hypothèse où l'on considère la réflexion comme produite par les particules mêmes des corps; du moins, il devient nécessaire alors de supposer que les ondes élémentaires, ainsi réfléchies, changent d'un quart d'ondulation par l'acte même de la réflexion.

Il me semble qu'on peut s'en rendre compte jusqu'à un certain point, en faisant attention que les particules du corps, ébranlées par les ondulations lumineuses, doivent sans doute partager à la fois les mouvements des rayons incidents et des rayons réfléchis, et que ce sont probablement leurs vibrations dans la direction de ceux-ci, qui constituent principalement la réflexion. Or, pour que ces deux sortes de vibrations s'exécutent à la fois dans les mêmes particules de la manière la plus indépendante, il faut que les unes ne commencent leurs oscillations qu'un quart d'ondulation après les autres. Je ne présente néanmoins qu'avec beaucoup de défiance ces idées sur une question aussi déli-

cate, et je ne regarde point l'explication que je viens de hasarder comme une démonstration rigoureuse de la différence d'un quart d'ondulation entre les rayons transmis et les rayons réfléchis, mais seulement comme une manière de la concevoir. D'ailleurs, ce retard d'un quart d'ondulation dans la marche des rayons réfléchis résulte nécessairement du principe de la conservation des forces vives appliqué à l'hypothèse que nous considérons, puisque, sans ce changement opéré par la réflexion, les anneaux transmis seraient absolument semblables aux anneaux réfléchis, au lieu d'en être complémentaires. Cette différence d'un quart d'ondulation est donc une conséquence nécessaire de notre seconde hypothèse sur la réflexion.

Cela posé, nous avons vu que la résultante de toutes les ondes élémentaires réfléchies dans le voisinage de la surface se trouvait en arrière d'un quart d'ondulation par rapport aux rayons partis de la surface même; et, puisque, par le seul acte de la réflexion, les ondes réfléchies doivent se trouver retardées d'un quart d'ondulation, il en résulte une différence totale d'une demi-ondulation entre les rayons incidents et les rayons réfléchis, indépendamment de la différence des chemins parcourus comptés à partir de la surface pour les rayons réfléchis. Nous supposons ici que le corps réfléchissant est dans le vide : s'il était en contact avec un autre milieu d'un moindre pouvoir réfléchissant, ce serait encore la même chose; mais si le milieu supérieur était, au contraire, plus réfringent, la résultante des ondes élémentaires se trouvant alors en avance d'un quart d'ondulation par rapport aux rayons réfléchis à la surface même, le retard d'un quart d'ondulation qu'elle éprouve dans l'acte de la réflexion serait ainsi compensé. On tire des conséquences absolument opposées de la première hypothèse, suivant laquelle la réflexion, résultant uniquement de la différence de densité de l'éther dans les deux milieux, s'opérerait à la surface même de séparation. Ainsi, ces deux

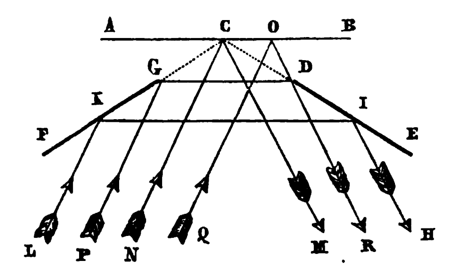
hypothèses, qui s'accordent sur les anneaux réfléchis, et par conséquent sur les anneaux transmis, puisque ceux-ci sont nécessairement complémentaires des premiers, d'après le principe de la conservation des forces vives, ces deux hypothèses, dis-je, en nous conduisant à des conséquences contradictoires sur les différences de vibration entre les rayons réfléchis et les rayons transmis, nous offrent le moyen de décider par l'expérience laquelle des deux il faut rejeter.

Pour cela, j'ai choisi le cas le plus commode, celui où la lumière est réfléchie dans l'air à la première surface d'une plaque de verre. Alors, d'après la première hypothèse, les rayons réfléchis doivent s'accorder dans leurs vibrations avec les rayons directs, en les supposant ramenés à la même direction, et abstraction faite de la différence des chemins parcourus; tandis que, suivant la seconde hypothèse au contraire, ils doivent différer d'une demi-ondulation. Il s'ensuit qu'en faisant interférer les deux faisceaux lumineux sous un très-petit angle, de manière à produire des franges visibles, la bande centrale, qui répond aux points où les chemins parcourus sont égaux, doit être blanche d'après la première hypothèse, et noire selon la seconde.

Pour établir cette interférence, j'ai reçu sur deux miroirs de verre noir les rayons directs, et ceux qui avaient déjà subi une première réflexion sur une autre plaque de verre parfaitement transparente et noircie par-derrière; cette réflexion sur deux miroirs pareils des rayons incidents et des rayons déjà réfléchis, en leur imprimant la même modification, ne pouvait pas altérer la différence résultant de la réflexion d'un des faisceaux lumineux sur le premier miroir (1).

---

(1) La réflexion sur le verre noir produit les mêmes modifications que sur un verre blanc, comme je m'en suis assuré en faisant interférer des rayons réfléchis sur une glace de verre noir, avec des rayons réfléchis sur un miroir de verre blanc. Il n'en est plus de même en substituant un miroir métallique au verre noir; les franges cessent alors d'être symétriques par rapport à la bande brillante du milieu.



Les deux miroirs de verre noir, destinés à ramener les deux faisceaux lumineux à des directions à peu près parallèles, étaient aussi disposés de façon que les chemins parcourus, répondant à la partie commune des deux champs lumineux, fussent sensiblement égaux; ce que j'obtenais au moyen d'une épure tracée sur un carton de la manière indiquée par la *fig.* 1 : FG est la plaque de verre transparent sur laquelle les rayons incidents éprouvent la première réflexion; AB et DE les deux miroirs noirs qui réfléchissent, le premier, les rayons venus directement du point lumineux, le second, ceux déjà réfléchis par la plaque de verre FG. Pour que les rayons incidents soient ramenés à des directions parallèles, il faut que les deux miroirs FG et DE fassent avec le miroir AB, des angles égaux à la moitié de l'angle NCB, que les rayons directs font avec ce même miroir AB; et pour que les chemins parcourus par les rayons LKIH et NCM soient égaux, il suffit que les plans des miroirs FG et DE prolongés rencontrent au même point C la surface du miroir AB. C'est d'après cette règle que toutes mes épures ont été tracées; mais, comme on ne peut parvenir par un simple dessin au degré de précision nécessaire pour des expériences aussi délicates, où une différence de quelques millièmes de millimètre dans les chemins parcourus suffit pour faire disparaître les franges, je faisais varier lentement la position du miroir DE à l'aide d'une vis de

rappel, qui l'avançait ou le reculait parallèlement à lui-même dans une direction perpendiculaire à sa surface; et, par un tâtonnement très-court, je parvenais aisément à obtenir l'apparition des franges.

J'ai répété cette expérience sous des inclinaisons très-diverses; j'ai donné successivement à l'angle ACF, $7^{o}\frac{1}{2}$, 15°, 20°, 25°, $27^{o}\frac{1}{2}$, 35°, 40°, et j'ai toujours vu le milieu du groupe de franges occupé par une bande noire, conformément aux conséquences de la seconde hypothèse sur la réflexion.

Pour rendre la chose bien évidente, il faut rapprocher beaucoup entre elles les deux images du point lumineux, de manière à donner aux franges le plus de largeur possible, afin que l'effet prismatique de la loupe dont on se sert pour les observer ne puisse pas occasionner de méprise sur le rang de chacune et sur la symétrie de leurs teintes (1). Alors les franges présentent des couleurs disposées symétriquement de part et d'autre de la bande noire centrale, qui est parfaitement incolore dans le milieu de sa largeur; en sorte qu'on ne peut pas douter que ce ne soit un point de discordance complète pour toutes les espèces de rayons, et que les deux systèmes d'ondes, qui interfèrent, ne diffèrent en conséquence que d'une demi-ondulation. Les rayons, deux fois réfléchis sur le verre, diffèrent donc d'une demi-ondulation de ceux qui n'ont été réfléchis qu'une seule fois, ou, ce qui revient au même, les rayons, réfléchis une seule fois, diffèrent d'une demi-ondulation des rayons directs ou

(1) Il est une autre précaution à prendre pour parvenir à faire naître des franges; et, faute d'y avoir songé d'abord, j'ai cru pendant quelques jours que les deux faisceaux lumineux ne s'influençaient plus lorsque les rayons s'approchaient de l'incidence perpendiculaire. Cela tenait tout simplement à ce que je n'avais pas rapproché les miroirs DE et FG de AB, à mesure que je diminuais l'obliquité des rayons incidents; en sorte que les rayons PGDR et QOR, que je faisais interférer, étaient émanés du point lumineux sous des directions trop différentes. Or, j'ai fait voir, dans mon premier Mémoire sur la diffraction, que ce n'est que dans des intervalles angulaires assez petits qu'on peut considérer comme vibrant d'accord tous les rayons partis du foyer de la lentille dont on se sert pour former le point lumineux.

transmis, indépendamment des chemins parcourus, comptés à partir de la surface même de la glace. Ainsi l'expérience confirme, dans ses conséquences, l'hypothèse d'après laquelle la réflexion s'opérerait sur les particules mêmes des corps transparents.

Ces réflexions intérieures sur les particules propres des corps étaient déjà indiquées par d'autres phénomènes. Les couleurs, que la polarisation développe dans la lumière qui a éprouvé plusieurs réflexions sur des miroirs métalliques, démontrent, d'après le principe des interférences, qu'une partie des rayons réfléchis a pénétré dans l'intérieur même du métal jusqu'à une petite distance de sa surface; car la lumière, ainsi modifiée, se comporte dans les lames cristallisées qu'on lui fait traverser, exactement comme si elle était composée de deux systèmes d'ondes, polarisés l'un parallèlement, et l'autre perpendiculairement au plan d'incidence, et séparés par un intervalle plus ou moins grand, selon l'angle d'incidence et le nombre des réflexions successives.

Les corps les plus transparents ne réfléchissent pas seulement la lumière dans la couche très-mince qui touche à leur surface, mais encore, de tous les autres points de leurs parties intérieures, et cette lumière devient toujours sensible quand le milieu réfléchissant a assez de profondeur.

L'atmosphère nous en présente un exemple frappant. L'abondance de la lumière solaire, qu'elle renvoie de toutes parts à nos yeux, même dans les jours où l'air est le plus pur, ne peut se concevoir, comme l'a observé M. Arago, qu'en supposant que ce sont les particules mêmes de l'air qui réfléchissent cette lumière, et que la faiblesse de ces réflexions partielles est compensée par leur multitude.

Les phénomènes de cette espèce deviennent faciles à concevoir, dans l'hypothèse dont nous venons de voir les conséquences confirmées par l'expérience. En effet, les réflexions élémentaires résultant du choc des ondes lumineuses contre

les particules propres des corps ne peuvent se détruire complétement dans leur intérieur qu'autant que les intervalles qui les séparent sont infiniment petits, relativement à la longueur d'une ondulation; parce qu'alors on peut toujours trouver, derrière chaque particule, une autre particule située à une distance telle, que les rayons qu'elle tend à réfléchir diffèrent exactement d'une demi-ondulation de ceux qui seraient réfléchis par la première. Mais, dès que les intervalles qui séparent les molécules du milieu ne sont pas absolument nuls par rapport à la longueur d'une ondulation, il n'y a plus destruction complète des réflexions élémentaires dans l'intérieur du milieu, et ces réflexions finissent par devenir sensibles, lorsqu'elles s'ajoutent sur une grande profondeur (1).

Cette théorie de la réflexion, beaucoup plus générale et plus féconde en conséquences que l'autre hypothèse, qui ne peut s'appliquer qu'au cas particulier d'une transparence parfaite, a encore l'avantage de détruire, par ses fondements, l'objection qui a été faite contre le système des ondulations, relativement au phénomène de la dispersion des rayons colorés qui accompagnent la réfraction. L'analyse démontre que les ondulations de diverses longueurs doivent se propager avec la même vitesse dans un fluide élastique homogène; en sorte que si le ralentissement de la lumière dans le verre, par exemple, ne dépendait que de la plus grande densité de l'éther qu'il contient, les différentes espèces d'ondes lumineuses, qui doivent se propager avec une égale vitesse dans le vide, c'est-à-dire dans l'éther seul,

---

(1) Cette manière d'envisager la réflexion laisse entrevoir la possibilité d'expliquer les couleurs propres des corps d'une manière plus satisfaisante que celle indiquée par Newton. Celle-ci ne paraît pas applicable à des liquides colorés parfaitement limpides, dont les particules sont sans doute beaucoup plus petites que la longueur d'un accès même dans le verre, et auxquelles il faudrait en conséquence supposer des densités invraisemblables, et beaucoup plus grandes que celles qu'elles devraient avoir, d'après la même théorie, dans d'autres composés incolores d'une diaphanéité parfaite.

éprouveraient un ralentissement égal dans le verre, et se réfracteraient en conséquence de la même manière; car le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction dépend uniquement de celui qui existe entre les vitesses de la lumière dans les deux milieux. Mais, d'après l'expérience que j'ai rapportée, il est très-probable que l'éther contenu dans le verre n'est pas sensiblement plus dense que celui qui l'environne; en sorte que le raccourcissement des ondes lumineuses qui pénètrent le verre est principalement dû à ses propres molécules, dont on ne peut pas d'ailleurs, et par une raison bien simple, révoquer en doute la grande influence dans le phénomène de la dispersion, puisqu'elle varie avec la nature ou l'arrangement de ces molécules, suivant des rapports tout à fait différents de ceux des pouvoirs réfringents moyens.

Mais celui de tous les phénomènes d'optique qui met le plus en évidence, peut-être, l'influence immédiate des particules des corps sur la marche de la lumière, c'est la double réfraction, qui nous fait voir un rayon polarisé changer de vitesse selon le sens dans lequel on tourne le cristal qu'on lui fait traverser, quoique la densité de l'éther qu'il renferme reste toujours la même.

Je citerai encore, à cette occasion, une loi que je viens de découvrir dans les phénomènes de double réfraction que présente le verre courbé, et qui fait voir jusqu'à quel point l'arrangement des molécules influe sur la marche de la lumière.

On sait que, quand on courbe le verre, il acquiert des propriétés analogues à celles des lames minces cristallisées. Comme ces cristaux, il fait reparaître l'image extraordinaire en la colorant, ainsi que M. Brewster l'a remarqué depuis longtemps. L'analogie indique que ces teintes, parfaitement semblables à celles des lames minces cristallisées, doivent résulter aussi de l'interférence de deux systèmes d'ondes lumineuses, qui parcourent le verre courbé avec

des vitesses inégales ; et c'est aussi ce que confirme l'expérience.

Pour mesurer les vitesses de ces deux systèmes d'ondes, j'ai employé le procédé délicat que fournit la diffraction. Après avoir courbé un parallélipipède de verre à l'aide d'un étau dans lequel une de ses extrémités était engagée, et d'une vis de pression qui appuyait sur l'autre extrémité, j'ai fait passer au travers de ce parallélipipède deux faisceaux lumineux émanés d'un même point radieux et introduits par deux fentes pratiquées dans un écran qui interceptait le reste de la lumière ; elles n'avaient guère que $0^{mm},15$ de largeur, et étaient assez rapprochées l'une de l'autre pour que les deux faisceaux pussent interférer en raison de la dilatation qu'elles leur faisaient éprouver. Ces fentes répondaient à des points également éloignés de la ligne milieu, où les particules du verre n'éprouvent ni rapprochement ni écartement sensibles par l'effet de la flexion ; ainsi les particules du verre se trouvaient aussi rapprochées dans le plan qui répondait à l'une des fentes, qu'elles s'étaient écartées dans celui qui passait par l'autre ; en sorte que la différence de marche entre les deux faisceaux lumineux, devait être le double de celle d'un de ces systèmes d'ondes avec les rayons qui auraient suivi le plan milieu, dans lequel le verre n'est point modifié par la flexion, comme on pourrait d'ailleurs le vérifier par une expérience directe, en plaçant une des fentes vis-à-vis ce plan milieu.

Les franges produites par l'interférence de ces deux faisceaux lumineux ne présentaient plus les teintes vives et pures des anneaux colorés, comme avant la flexion du verre ; mais elles offraient un mélange de ces teintes semblable à celui qui résulte de la superposition de deux groupes de franges dont les centres ne coïncident pas. En analysant la lumière avec un rhomboïde de spath calcaire, lorsque sa section principale était parallèle ou perpendiculaire à la ligne de courbure du verre, les franges de chaque image

présentaient exactement les teintes des anneaux colorés; mais la bande brillante centrale n'occupait pas la même position par rapport au fil du micromètre dans l'image ordinaire et dans l'image extraordinaire; ce qui démontre que la différence de marche entre les deux faisceaux polarisés parallèlement à la ligne de courbure, n'est pas la même que la différence de marche des deux faisceaux polarisés dans le plan normal.

En mesurant le déplacement des franges dans l'image ordinaire et dans l'image extraordinaire, occasionné par la flexion du verre, j'ai trouvé que, pour les rayons polarisés parallèlement aux faces courbées, il était précisément double de celui que présentaient les franges produites par les rayons polarisés suivant le plan normal.

Le raisonnement et toutes les analogies indiquent, pour l'axe de double réfraction du verre courbé, précisément la ligne de courbure (1), du moins quand la flexion est assez légère pour que les molécules du verre n'éprouvent de rapprochement ou d'écartement sensible que dans cette direction. Cette hypothèse se trouve, d'ailleurs, confirmée par les expériences que j'ai faites sur la manière dont les teintes que la polarisation développe dans le verre courbé montent

---

(1) En effet, concevons le parallélipipède de verre divisé en tranches très-minces parallèlement aux faces courbées ; le rapprochement ou l'écartement de ses particules augmente ou diminue avec la position des tranches, qui forment comme un assemblage de cristaux jouissant de la double réfraction à des degrés différents. Mais chaque tranche étant supposée très-mince, le rapprochement ou l'écartement de ses molécules ne varie pas sensiblement dans l'étendue de son épaisseur ; ainsi les molécules du verre n'éprouvant de déplacement sensible, par hypothèse, que suivant la direction des fibres longitudinales, l'arrangement des molécules dans le plan normal est tout à fait le même dans tous les sens autour de ces fibres, qui sont en conséquence les seules lignes qu'on puisse considérer comme les axes de double réfraction. Elles doivent effectivement en posséder la propriété caractéristique ; car il est évident qu'un rayon lumineux qui traverserait le verre suivant cette direction, devrait toujours le parcourir avec une égale vitesse, quel que fût l'azimut de son plan de polarisation.

ou descendent dans l'ordre des anneaux, selon le sens suivant lequel on incline le verre.

J'admets donc que l'axe de double réfraction est la tangente à la courbe résultant de là flexion; alors j'appellerai rayons ordinaires ceux qui ont été polarisés parallèlement aux faces courbées, et rayons extraordinaires ceux qui ont été polarisés dans un plan perpendiculaire. Ainsi, d'après cette manière d'envisager les choses, le changement de vitesse de la lumière, qui résulte du rapprochement ou de l'écartement des molécules du parallélipipède de verre, est deux fois plus considérable dans les rayons qui ont éprouvé la réfraction ordinaire que dans ceux qui ont été réfractés extraordinairement: résultat bien remarquable, puisqu'ici la double réfraction est du même ordre que le changement de réfraction qui résulte de la dilatation ou de la condensation du milieu.

J'ai essayé de déterminer la dilatation et la condensation absolue du parallélipipède de verre dans les points traversés par les faisceaux lumineux que je faisais interférer; mais je n'ai pas encore fait des observations assez nombreuses et assez précises pour déterminer la relation qui existe entre ces modifications et les variations qui en résultent dans la marche de la lumière. J'ai cependant reconnu que ces variations sont beaucoup moindres que celles que l'on conclurait de l'augmentation ou de la diminution de densité du milieu dans le système de l'émission, en supposant que l'attraction exercée par le milieu sur les molécules lumineuses est proportionnelle à sa densité, ou dans le système des ondulations, en assimilant ce milieu à un fluide élastique homogène dont la densité éprouverait les mêmes variations que la plaque de verre, son élasticité restant constante. Avec ces hypothèses, les deux théories conduisent à la même formule; je l'ai appliquée à plusieurs observations, dont une me paraît mériter quelque confiance, à raison du soin que j'y avais apporté. Or, le calcul m'a conduit, pour la variation que

doit éprouver la vitesse de la lumière, à un résultat à très-peu près double de celui que m'avait donné cette expérience pour les rayons qui éprouvent les variations les plus sensibles dans leur marche, c'est-à-dire les rayons ordinaires.

En admettant toujours que l'axe de double réfraction du verre courbé est dans la direction même de la courbure, j'ai trouvé, par le croisement de la plaque de verre avec des lames cristallisées, que la moitié située du côté de la convexité, ou la partie dilatée suivant l'axe, était du genre des cristaux attractifs, et la partie où les molécules du verre sont rapprochées dans le sens de l'axe, du genre des cristaux répulsifs, pour me servir des expressions usitées dans le système de l'émission; ou, en d'autres termes, et en envisageant la chose sous le point de vue de la théorie des ondulations, que, lorsque la double réfraction est occasionnée par une dilatation suivant l'axe, c'est le rayon ordinaire qui marche plus vite que le rayon extraordinaire, et lorsqu'elle provient d'une condensation suivant l'axe, c'est, au contraire, le rayon extraordinaire qui devance le rayon ordinaire; ce que l'on pouvait déjà conclure des expériences de diffraction que je viens de rapporter.

M. Brewster avait déjà remarqué depuis longtemps cette analogie entre les deux moitiés d'une plaque de verre courbée et les cristaux attractifs et répulsifs; mais je ne sache pas qu'il ait indiqué la direction de l'axe. Quoi qu'il en soit, il est très-probable qu'il l'aura supposé aussi parallèle à la ligne de courbure, car c'est l'hypothèse la plus naturelle (1).

Le mauvais temps et des occupations pressantes m'ont

---

(1) Depuis la rédaction de ce Mémoire, je me suis assuré que M. Brewster avait déterminé la direction de l'axe de double réfraction dans le verre courbé, en inclinant les rayons incidents suivant des plans parallèles ou perpendiculaires à cet axe, et qu'il avait reconnu qu'il était parallèle au sens de la condensation ou de la dilatation du verre.

obligé d'abandonner momentanément mes recherches sur la double réfraction du verre courbé. Je me propose de les reprendre dans des circonstances plus favorables, et de déterminer, par des observations exactes, les rapprochements ou écartements des particules du verre qui répondent à chaque degré de différence de vitesse entre les rayons ordinaires et extraordinaires. Des expériences de ce genre, dans lesquelles on peut faire varier à volonté et mesurer les modifications apportées dans l'arrangement des particules du milieu réfringent, jetteront peut-être quelque jour sur les causes mécaniques de la double réfraction.

DE L'ACTION DE L'IODE SUR LE XANTHATE DE POTASSE;

PAR M. WILLIAM-CHRISTIAN ZEISE,
Professeur de Chimie à l'Université de Copenhague.

TRADUIT PAR L'AUTEUR.

(Mémoire lu à l'Académie royale des Sciences de Danemark, le 11 avril 1845)

Dans le Mémoire sur l'acide xanthique, qui se trouve dans le tome VI des *Mémoires physiques et mathématiques de la Société royale des Sciences de Danemark*, j'ai fait observer que le xanthate de potasse donne, avec un sel de deutoxyde de cuivre, du xanthate de protoxyde de cuivre, tandis qu'une partie de l'acide xanthique est décomposée. Je me procurai, il y a quelques mois, une portion de ce nouveau produit, qui est un corps huileux. La préparation de cette substance par ce procédé étant assez pénible, je me promettais de l'avoir plus facilement en traitant le xanthate

convenablement par de l'iode. En effet, puisque le deutoxyde de cuivre agit sans doute par l'atome d'oxygène qu'il perd en passant à l'état de protoxyde, il me paraissait très-probable que l'oxygène, qui devait quitter le potassium par la formation de l'iodure de ce métal, devait donner le même produit.

Mais une expérience à cet égard, dans laquelle une bouillie du xanthate dans l'alcool fut traitée par de l'iode en poudre très-fine et dans un rapport exact pour former de l'iodure de potassium sans excès de l'iode, fit bientôt voir que l'action n'était pas celle que j'avais présumée, car il se sépara à l'instant, outre de l'iodure de potassium, une grande quantité de soufre. En poursuivant cette action inattendue, j'ai vu comme résultat principal, qu'il s'y produit une nouvelle combinaison dont la composition élémentaire est $C^4 H^{10} O S^2$, ce qui conduit naturellement à la formule

$$C^4 H^{10} O + CS^2,$$

c'est-à-dire le véritable éther sulfocarbonique, l'acide xanthique étant la combinaison acide avec 2 atomes du sulfure de carbone.

Quant à l'action de l'iode sur le xanthate, il faut que l'oxygène de la potasse et 1 atome de carbone soient unis d'une manière particulière, et puisqu'il ne se forme point de gaz dans cette action, il est probable que ces deux corps se combinent avec une certaine partie de l'iode. Nous en parlerons encore vers la fin de ce Mémoire.

La préparation de l'éther sulfocarbonique se fait, du reste, par le procédé suivant : on se procure la quantité du xanthate de potasse nécessaire à ce produit, en ajoutant peu à peu, agitant bien le mélange, de l'hydrate de potasse pulvérisé à une dissolution de sulfure de carbone dans 20 parties d'alcool anhydre, jusqu'à ce qu'il n'y ait qu'une petite quantité de sulfure en excès; de sorte que le liquide ne soit que très-peu troublé par de l'eau, mais

qu'il ne réagisse cependant pas sur le papier de curcuma. Immédiatement après, on filtre la liqueur, en prenant garde de ne pas porter ce qui n'est pas encore dissous sur le filtre, puisqu'il s'y trouve quelquefois un peu d'hydrate libre. La filtration faite, on ajoute à ce qu'il reste un peu d'alcool, et, si l'on trouve le mélange alcalin, encore un peu de sulfure. La liqueur filtrée est tout de suite placée dans de la glace; lorsqu'elle s'y est solidifiée, on porte la masse cristalline sur un filtre de toile serré. Séparé ainsi de la partie liquide, on lave le sel avec un peu d'alcool froid, jusqu'à ce que l'alcool ne se trouble pas par de l'eau. Cela fait, on met le sel encore humide dans un flacon à large ouverture; la liqueur filtrée est mise avec le reste non dissous du mélange, et on le fait chauffer au moyen de l'eau de 50 à 60 degrés. La solution ainsi saturée et filtrée est traitée, du reste, comme la portion précédente.

Le sel ainsi obtenu est broyé dans le flacon avec un agitateur convenable, de sorte que toute la masse constitue une bouillie uniforme. Après cela on y met peu à peu, en agitant bien le mélange, de l'iode pur en poudre très-fine; bientôt il se sépare une poudre saline, ainsi que du soufre, sous une liqueur jaune. On continue l'addition de l'iode jusqu'à ce que la couleur du liquide commence à tirer tant soit peu sur le brun; alors on y ajoute très-peu de xanthate, de sorte que la couleur jaune pure soit restituée. Aussitôt que la liqueur commence à tirer sur le brun, elle donne, avec de l'eau, une huile qui produit, avec de l'amidon, la combinaison bleue; ce qui n'a pas lieu du tout tant que la couleur est d'un jaune pur, de sorte qu'on juge très-facilement de la juste proportion de l'iode par le changement de la couleur.

Après avoir restitué la couleur jaune au moyen d'un peu de xanthate, on laisse le mélange en repos pendant vingt-quatre heures, pour donner lieu à une séparation plus complète de l'iodure de potassium et de soufre; après cela

on filtre la liqueur et on lave le précipité avec un peu d'alcool. Le liquide ainsi obtenu est ensuite distillé au bain-marie, jusqu'à ce qu'il reste à peu près un quart. Par le refroidissement, il se dépose dans ce résidu encore du soufre et de l'iodure; on décante et on lave un peu avec de l'alcool; ensuite on fait distiller le liquide dans un bain d'huile, jusqu'à la température de 150 degrés; la liqueur distillée ôtée, on continue la distillation à une chaleur lentement croissante presque à sec : il reste alors une masse brune sirupeuse, mais non pas en quantité assez considérable pour être regardée comme un produit essentiel de l'action de l'iode sur le xanthate.

Lorsqu'on distille encore une fois le liquide, il ne reste presque rien; mais il n'est pas possible de séparer l'alcool par la seule distillation si complétement, qu'il résulte une liqueur d'un point d'ébullition fixe. C'est pour cela qu'il faut à présent agiter le liquide passé à une température entre 100 et 150 degrés, avec 4 à 5 volumes d'eau. Il se dépose alors au fond du vase, quoique assez difficilement, une huile jaune et limpide, qu'on traite encore une fois avec 3 à 4 volumes d'eau : séparée mécaniquement de celle-ci, on la laisse pendant vingt-quatre heures avec du chlorure de calcium fondu et grossièrement cassé; on la filtre, on la fait distiller de nouveau : on a alors l'éther sulfocarbonique pur.

Avant d'entrer dans la description des propriétés de ce produit, je vais parler un peu du dépôt ci-dessus mentionné.

Ce qui est obtenu d'abord par l'action de l'iode sur le xanthate est, lorsqu'on l'a parfaitement dépouillé par l'alcool des corps huileux, un mélange de l'iodure de potassium et de soufre; ce qui s'est séparé par la concentration du liquide contient les mêmes corps, mais il a proportionnellement plus de soufre. Je n'y ai pu trouver d'autres substances.

Le résidu brun-noir, obtenu par la première distillation, est une combinaison particulière; mais la quantité en était trop petite pour un examen exact. La plus grande partie se dissolvait dans l'eau, en donnaut une liqueur brune qui était faiblement alcaline. L'acide nitrique l'attaque fortement; et, en ajoutant à la matière d'abord un peu d'amidon et ensuite de l'acide nitrique, il prouverait très-distinctement la réaction de l'iode. L'acide chlorhydrique précipite de la dissolution un corps brun floconneux, et la couleur du liquide disparaît. Le précipité séché, chauffé dans un tube de verre, donna un peu de soufre et un résidu charbonneux. Cette matière s'est donc comportée comme une combinaison de l'iode, de soufre de carbone et probablement de l'hydrogène unis au potassium.

L'éther sulfocarbonique est un liquide limpide, d'une couleur jaune pâle, d'une odeur particulière assez forte, qui n'a rien d'agréable; la saveur en est douceâtre : il n'agit pas sur les papiers réactifs. Refroidi jusqu'à — 20 degrés, il ne change pas d'état. Il ne peut s'enflammer que lorsqu'il a été préalablement chauffé : la flamme est lumineuse et exhale l'odeur d'acide sulfureux. Sa pesanteur spécifique est, à 18°, 1,073. Pour la détermination du point d'ébullition, une portion de l'éther fut chauffée, à l'aide d'un bain d'huile, dans un petit matras dans lequel plongeait un thermomètre. Lorsque l'ébullition eut lieu, le thermomètre indiqua 210 degrés; mais la quantité de l'éther avec laquelle j'étais obligé de faire cette expérience n'étant pas assez grande pour que le thermomètre pût être profondément plongé dans le liquide, il serait possible que le point d'ébullition fût un peu plus haut.

Quant aux recherches analytiques de ce corps, les voici :

Je trouvai convenable, pour la détermination du carbone et de l'hydrogène, d'introduire l'éther dans le tube de combustion au moyen d'un tube de verre ayant 4 pouces de longueur et à peu près $\frac{1}{5}$ de pouce de largeur, fermé aux

deux bouts, mais ouvert au milieu pour former un canal. Après avoir mis dans celui-ci de l'oxyde de cuivre et déterminé le poids, j'y ajoutai quelques gouttes de l'éther, pesai la quantité, et introduisis tout de suite le petit tube dans le tube de combustion contenant en avance une certaine quantité d'un mélange d'oxyde de cuivre et de chromate de plomb, après quoi presque tout le tube fut rempli du même mélange. Au reste, je procédai à la manière ordinaire.

I. $0^{gr},308$ d'éther donnèrent 0,327 d'acide carbonique et 0,150 d'eau, ce qui fait pour 100 parties d'éther 144,47 parties d'acide carbonique et 59,415 d'eau.

Par conséquent :

Carbone............	39,400
Hydrogène..........	6,598

II. $0^{gr},125$ d'éther donnèrent 0,183 d'acide carbonique et 0,075 d'eau, ce qui fait pour 100 parties d'éther 146,4 parties d'acide carbonique et 60 d'eau.

D'où

Carbone............	39,825
Hydrogène..........	6,663

Les moyennes de ces nombres sont :

Carbone....... 39,612, Hydrogène....... 6,630.

$$\text{Or} \quad \frac{3961,2}{75} = 52,816 \quad \frac{663,0}{6,2398} = 106,25, \quad \text{et} \quad \frac{106,25}{52,816} = 2.$$

L'éther sulfocarbonique contient donc 2 atomes d'hydrogène carboné sur 1 atome de carbone.

Pour la détermination du soufre, j'ai employé mon procédé ordinaire, c'est-à-dire la combustion, au moyen d'un mélange d'oxyde de cuivre, de chlorate de potasse et de carbonate de soude dans un tube de verre, comme pour la détermination du carbone et de l'hydrogène, le traitement de la masse par de l'eau dans un vase d'argent, et par de nou-

velles quantités de carbonate de soude, jusqu'à ce qu'une dissolution d'une portion de l'oxyde dans de l'acide chlorhydrique fût trouvée tout à fait dépouillée d'acide sulfurique, sursaturation de la liqueur filtrée par de l'acide chlorhydrique, précipitation par du chlorure de barium, etc.

I. 0gr,353 d'éther sulfocarbonique donnèrent de cette manière 1,099 de sulfate de baryte, ce qui fait pour 100 parties d'éther 311,33 parties de sulfate.

D'où

Soufre......... 42,96.

II. 186 grammes d'éther donnèrent 0,581 de sulfate de baryte; ce qui fait pour 100 parties d'éther 312,36 parties de sulfate de baryte, qui contiennent 43,095 parties de soufre.

Les moyennes des quantités ainsi obtenues sont :

Carbone...........	39,612
Hydrogène........	6,830
Soufre............	43,027
	89,269

$$100 = 89,269 = 10,731.$$

Les expériences ont donc donné, pour 100 parties d'éther sulfocarbonique :

O............	10,731
S............	43,027
C............	39,612
H...........	6,630

$$\frac{1073,1}{100} = 10,73, \quad \frac{4302,7}{201,165} = 21,3, \quad \frac{3961,2}{75} = 52,6.$$

Le rapport de ces quotients est comme 1 : 2 : 5; il faut donc que la composition de l'éther sulfocarbonique soit :

O..............	100,000
S^2..............	402,330
C^5..............	375,000
H^{10}..............	62,398
	939,728

Si l'on calcule les rapports pour 100 parties d'éther, d'après cette formule, nous avons :

O..............	10,640
S..............	42,815
C..............	39,905
H..............	6,640

Ces nombres sont donc bien d'accord avec ceux de l'expérience.

Le corps en question contient, par conséquent, comme je l'ai déjà indiqué, les éléments de 1 atome d'éther proprement dit et de 1 atome de sulfure de carbone, de sorte qu'il doit être représenté par

$$C^4H^{10}O + CS^2,$$

formule qui indique qu'il existe des combinaisons entre un sulfure et un oxyde organique.

Lorsqu'on dissout une quantité suffisante d'éther sulfocarbonique dans une dissolution d'hydrate de potasse par l'alcool anhydre, et qu'on laisse la dissolution dans un verre bien fermé, il se sépare, dans l'espace de six à huit heures, une quantité considérable d'une poudre saline. Le mélange sent alors très-fortement le mercaptam, et le sel, bien lavé par de l'alcool, se comporte en tout comme du carbonate de potasse. La liqueur filtrée donne, par la distillation, un liquide qui possède l'odeur très-forte du mercaptam, et qui donne, avec une dissolution d'acétate de plomb, le précipité jaune cristallin, et, avec le chlorure de cuivre et d'or, les précipités blancs.

Au bout de quelques jours, on trouve en outre, dans le mélange, du xanthate de potasse et du sulfure de potassium. Si l'on chauffe le mélange, il se forme bientôt du sulfure de potassium. La formation du xanthate à côté du mercaptam et du carbonate n'est pas surprenante, et la formation du sulfure de potassium dérive peut-être du xanthate.

La différence entre le xanthate de potasse et l'éther sulfo-

carbonique, pour les éléments, est que le premier contient 1 atome de potassium, 1 atome d'oxygène, 1 atome de carbone et 2 atomes de soufre, qui ne sont pas dans le dernier. Le potassium, et probablement tout le soufre, se trouvent, dans le dépôt, en même temps que l'éther sulfocarbonique; mais l'atome d'oxygène et l'atome de carbone, où sont-ils? L'action de l'iode sur le xanthate se fait, comme nous l'avons déjà dit, sans aucun dégagement de gaz, de sorte qu'il ne s'est pas formé d'oxyde de carbone; mais il est possible qu'il se soit produit une combinaison d'oxygène et de carbone, d'iode, analogue peut-être à la composition connue de carbone, d'oxygène et de chlore.

Quelle que soit la substance qui s'est formée, elle doit se trouver avec l'alcool dans les produits de la distillation de la liqueur.

J'ai, à cet effet, examiné cette liqueur, en la laissant distiller de manière à en extraire la partie la plus volatile. Le résidu donna, avec de l'eau, une liqueur trouble, d'où se sépara, quand elle fut échauffée, un peu d'huile, qui n'était que de l'éther sulfocarbonique. Ce qui était passé par la distillation fut aussi fortement troublé par de l'eau, et il se déposa enfin une huile jaune qui semblait être plus pesante que l'éther sulfocarbonique, d'une odeur différente, et qui se montrait encore beaucoup plus volatile que l'éther sulfocarbonique, en ce qu'elle était très-facile à allumer par un corps en combustion.

Ce liquide laissa, par la combustion, une matière brune sirupeuse qui sentait l'iode et qui, mêlée à l'amidon, produisait très-fortement la couleur bleue.

Il est donc probable que cette huile est la combinaison de carbone, d'oxygène et d'iode; par la combustion, elle développe un peu d'acide sulfureux, qui dérive peut-être d'un petit reste d'éther sulfocarbonique. Je n'ai pas

encore eu de ce liquide une quantité assez grande pour une recherche approfondie.

En finissant, je dois encore remarquer que j'ai quelquefois trouvé de l'hydrogène sulfuré dans le liquide qui avait passé par la première distillation de la liqueur filtrée à l'aide du bain d'eau; mais ni la quantité de ce produit ni sa constance ne m'ont semblé être telles, qu'il fût permis de le considérer comme essentiel.

EXAMEN

Des matières produites par un ulcère de l'orme, suivi d'observations sur les mucilages d'orme, de tilleul et de graine de lin;

PAR M. H. BRACONNOT.

Il y a près d'un demi-siècle que Vauquelin examina deux produits morbides de l'orme, l'un qu'il désigna sous le nom de *matière noire*, dans lequel il découvrit l'ulmine, et l'autre qu'il appela *matière blanche;* ces produits résultent ordinairement de la taille mal entendue que l'on fait subir aux ormes qui bornent les routes et les promenades. De ces blessures découle une lymphe qui, en s'infiltrant en partie entre l'écorce et le bois, les désorganise et finit souvent par causer la perte de l'arbre. Cette lymphe se répand aussi à la partie extérieure du tronc, et, en s'épaississant, le recouvre latéralement, et quelquefois dans une grande étendue, d'une bouillie gélatiniforme, laquelle, en se desséchant, devient blanche comme de la pierre calcaire. C'est dans cet état que Vauquelin a examiné cette matière.

Il en a établi la composition ainsi qu'il suit :

1°. Matière végétale..........	0,605
2°. Carbonate de potasse.....	0,342
3°. Carbonate de chaux.......	0,050
3°. Carbonate de magnésie.....	0,003
	1,000 (*)

Il est assez singulier que cet habile chimiste se soit contenté d'indiquer, dans le produit morbide dont il s'agit, une matière végétale qui, pourtant, en fait la plus grande partie, sans s'expliquer en aucune manière sur ses propriétés. C'est pourquoi j'ai cru devoir soumettre à de nouvelles recherches ce produit de l'orme : tel que je l'ai recueilli après les pluies dans la pépinière de Nancy, il était en bouillie gélatiniforme d'une couleur blonde. J'ai trouvé sa saveur fade, ou légèrement alcaline, mais nullement âcre et corrosive, comme on a supposé qu'elle devait l'être, pour ronger les bords de l'ulcère et contribuer à l'étendre; car on comprend qu'un liquide séveux quelconque, en s'infiltrant entre le bois et l'écorce, suffit pour les désorganiser, sans qu'il soit besoin de recourir à des principes âcres dont on a tant abusé en médecine.

100 grammes de cette matière exsudée par l'ulcère de l'orme, représentant 14 grammes de résidu desséché, ont été lavés à plusieurs reprises avec de l'eau froide. Les lavages, réunis et évaporés jusqu'à sec, ont laissé un résidu salin brun du poids de $0^{gr},5$ attirant l'humidité de l'air, et d'une saveur alcaline très-prononcée. Redissous dans l'eau, il a produit, avec l'acide sulfurique affaibli, une très-vive effervescence, et la liqueur est restée colorée, sans donner aucun indice de la présence de l'ulmine; seulement il s'est séparé quelques flocons mucilagineux. Cette même liqueur exhalait une odeur d'acide acétique; elle a, en effet, fourni à la distillation une petite quantité de cet acide. En résumé, le résidu salin brun dont il s'agit était presque entièrement formé

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, 1re série, tome XXI, page 43.

de bicarbonate de potasse, d'un peu de mucilage, de matière colorante brune, et de quelques indices de sulfate de potasse et de chlorure de potassium. La matière de l'ulcère, ainsi débarrassée, par le lavage à l'eau froide, des substances dont je viens de parler, a été mise en ébullition avec environ un demi-litre d'eau de pluie ; toute la matière végétale s'est dissoute, à l'exception de 8 grammes de carbonate de chaux, en cristaux sablonneux plus ou moins transparents, relevant encore un peu de matière organique et quelques indices de carbonate de magnésie. La liqueur mucilagineuse, passée bouillante à travers une toile, s'est prise, aussitôt qu'elle s'est refroidie, en une seule masse d'une gelée tremblante presque incolore que j'ai trouvée formée, pour la plus grande partie, d'une substance gélatiniforme particulière de bassorine et de pectate de potasse. Afin d'éliminer ces deux derniers de la substance gélatiniforme, j'ai délayé une nouvelle quantité de la matière de l'ulcère de l'orme avec de l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique, qui a dissous avec vive effervescence le carbonate de chaux et le bicarbonate de potasse, sans agir sensiblement sur la matière végétale, laquelle a été recueillie sur un linge, puis bien lavée ; toutefois la liqueur acide, écoulée d'abord, avait un aspect visqueux. Mêlée à de l'alcool, celui-ci en a précipité une substance qui, desséchée, s'est comportée comme la bassorine ; en effet, elle se gonfle considérablement dans l'eau froide sans s'y diviser ni s'y dissoudre, elle ne se dissout pas mieux dans ce liquide bouillant, à moins qu'on y ajoute un peu de potasse ; mais la liqueur ne se prend point en gelée en se refroidissant, et n'est point précipitée par les acides. La matière végétale, ainsi traitée, comme je viens de le dire, par l'acide chlorhydrique très-étendu, puis bien lavée à l'eau froide, a été mise en ébullition, à plusieurs reprises, avec une assez grande quantité du même liquide, puis les liqueurs mucilagineuses bouillantes réunies ont été filtrées à travers un linge, sur lequel est resté de l'acide pectique. Le liquide

mucilagineux, en se refroidissant, s'est figé en une masse abondante de gelée transparente comparable à celle qui est produite avec la gélatine animale. Voici les propriétés que cette nouvelle substance m'a offertes.

Desséchée, elle est demi-transparente, insipide, inodore. Plongée dans l'eau froide, elle ne s'y dissout point du tout, ne s'y gonfle pas et se ramollit à peine. Il en est tout autrement à la chaleur de l'ébullition, elle se dissout facilement en produisant une liqueur mucilagineuse insipide, qui se prend en gelée par le refroidissement, en sorte qu'une petite quantité de cette matière desséchée suffit pour gélatiniser une grande quantité d'eau; mais, lorsqu'on l'a longtemps exposée à l'air pour la dessécher, elle perd la propriété de se dissoudre dans l'eau bouillante.

La gelée abandonnée à elle-même pendant plusieurs jours ne paraît pas éprouver d'altération remarquable, seulement elle se contracte sur elle-même, et il s'en sépare un liquide incolore comme de l'eau pure, qui ne fournit par l'évaporation que quelques indices de gelée; d'où il suit que celle-ci est un peu soluble dans l'eau froide.

Ce liquide incolore, essayé par les réactifs, n'a donné avec la dissolution d'alun aucun changement apparent; mais il s'en est produit un bien réel, car le filtre sépare du mélange, à l'état d'union avec l'alun, la petite quantité de gelée qui était retenue en dissolution. L'acétate de plomb, la dissolution aqueuse de plombate de chaux, l'acétate de cuivre y produisent de semblables effets; mais le sublimé corrosif, ainsi que l'eau de chaux, n'en ont rien séparé. Si dans la gelée de l'ulcère de l'orme liquéfiée par la chaleur, on ajoute un peu de dissolution d'alun, il s'y forme aussitôt un coagulum abondant qui se sépare d'un liquide sans consistance. On peut par ce moyen purifier cette gelée et l'obtenir aussi incolore que de la glace; mais alors, l'alun doit être employé avec beaucoup de réserve, afin de ne précipiter qu'une petite partie de gelée, salie par un peu

de matière colorante. La dissolution bouillante de la même gelée est aussi coagulée instantanément par l'acétate de plomb, le plombate de chaux, l'acétate de cuivre et le sulfate ferrique; mais le sublimé corrosif, le nitrate d'argent, l'émétique et l'acétate manganeux ne paraissent y produire aucun changement, ainsi que l'infusion de galle et la teinture d'iode. La même gelée, acidulée légèrement avec l'acide sulfurique et mise en ébullition, perd entièrement la propriété de se gélatiniser par le refroidissement; il paraît qu'elle se transforme en une matière gommeuse, mais je n'ai pas examiné ce nouveau produit.

La même matière, traitée par l'acide nitrique, a donné de l'acide oxalique et de l'oxalate de chaux, mais point d'acide mucique. Soumise à la distillation, elle fournit un produit acide qui contient de l'ammoniaque. Au reste, cette matière gélatiniforme ne peut être confondue avec la pectine; car, étant chauffée avec de l'eau alcalisée avec de la potasse, l'acide chlorhydrique n'en a point précipité d'acide pectique. Si elle pouvait être comparée à d'autres substances connues, ce serait à la gelée du lichen d'Islande ou à la lichéine; mais ses propriétés ne sont pas exactement les mêmes. En résumé, je crois pouvoir conclure que la matière de l'ulcère de l'orme dont il s'agit, telle que je l'ai recueillie, est composée ainsi qu'il suit :

1°. Eau	86,0
2°. Carbonate de chaux cristallisé	8,0
3°. Bicarbonate de potasse 4°. Acétate de potasse	0,5
5°. Matière gélatiniforme particulière	3,3
6°. Bassorine	1,6
7°. Pectate de potasse	0,6
8°. Carbonate de magnésie, sulfate de potasse, chlorure de potassium	Indices.
	100,0

Observations sur les mucilages d'orme, de tilleul et de graine de lin.

Les recherches qui précèdent m'ont conduit à faire quelques essais sur l'écorce d'orme dans le but d'y rechercher ou de tenter de produire artificiellement la substance gélatiniforme que j'ai signalée dans l'ulcère de l'orme, et qui m'a paru dériver du mucilage contenu dans toutes les parties de cet arbre ; mais n'ayant obtenu aucun résultat satisfaisant à cet égard, j'ai dirigé mon attention sur ce mucilage, en le comparant à ceux de tilleul et de graine de lin avec lesquels il offre beaucoup de ressemblance.

Il existe en si grande quantité dans l'écorce d'orme, qu'on pourrait l'utiliser dans quelques arts. Les feuilles de cet arbre en sont aussi pénétrées, ce qui paraît les rendre très-convenables pour la nourriture du bétail, où elles sont employées à cet usage dans plusieurs parties de la France, principalement dans les Cévennes et le Jura. Les cochons en sont fort avides, surtout lorsqu'elles ont été ramollies par l'eau bouillante. On assure même qu'elles pourraient servir à la nourriture de l'homme dans les temps de disette; d'où l'on peut déjà conjecturer que leur mucilage est azoté. 100 grammes d'écorce d'orme fraîche, dépourvue de son épiderme, et recueillie au commencement du printemps, ont été exposés, pendant quelque temps, à une température voisine de l'ébullition avec un litre d'eau de pluie. Il en est résulté un mucilage transparent si excessivement épais et filant, qu'il n'a pu passer avec torsion qu'à travers un canevas à très-larges mailles. L'écorce, chauffée avec un nouveau litre d'eau, a encore fourni une liqueur mucilagineuse épaisse et visqueuse. Ce mucilage ressemble, par sa consistance et ses principales propriétés, à celui qu'on aurait obtenu en substituant à l'écorce d'orme une semblable quantité de graine de lin. La substance visqueuse qu'il contient n'y est retenue qu'en suspension; car si l'on aban-

donne à elle-même la décoction d'orme suffisamment étendue d'eau, la matière glaireuse finit par s'en séparer en partie, et la liqueur n'est plus visqueuse. Comme le mucilage de graine de lin, il rougit légèrement le papier de tournesol. Exposé à la chaleur pour être desséché, il se contracte sur lui-même, en perdant en partie ses propriétés visqueuses, résultat que m'a aussi offert la décoction de graine de lin, et surtout celle d'écorce de tilleul. A la distillation sèche, le mucilage d'orme m'a donné un produit ammoniacal. Le résidu charbonneux brûlé laisse une cendre très-abondante, comme celle que fournissent, en général, les matières mucilagineuses. L'eau enlève à cette cendre du carbonate de potasse, du sulfate de potasse, du chlorure de potassium etdu phosphate de potasse. La portion insoluble dans l'eau se dissout avec effervescence dans l'acide nitrique affaibli. La liqueur, exposée à la chaleur, se prend en gelée. L'évaporation, continuée jusqu'à sec, et le résidu repris par l'eau et un peu d'acide nitrique, laissent une quantité considérable de silice, et le liquide, séparé de celle-ci, mêlé à de l'eau de chaux, produit un précipité de phosphate de chaux. Il est remarquable que le mucilage de graine de lin et celui du tilleul fournissent aussi à la distillation un produit ammoniacal et une cendre abondante contenant beaucoup de silice, ainsi que les autres matières salines et terreuses que je viens d'indiquer dans le mucilage d'orme.

Ce mucilage desséché, traité à la chaleur avec quatre fois son poids d'acide nitrique, a laissé un résidu d'une consistance de miel; repris par l'eau bouillante, il s'en est séparé en sédiment blanc. Afin de m'assurer qu'il était formé d'oxalate de chaux, j'ai employé un moyen dont je me suis servi autrefois pour reconnaître ce sel terreux, et qui consiste à le faire dissoudre dans l'acide nitrique et à évaporer convenablement la dissolution, qui fournit des cristaux d'acide oxalique. La liqueur, séparée de l'oxalate de chaux, était jaune; elle a produit, par l'évaporation, une notable quan-

tité de petits cristaux grenus, médiocrement solubles dans l'eau, et que j'avais pris pour de l'acide mucique; mais les ayant examinés avec plus d'attention, je reconnus bientôt qu'ils n'étaient rien autre chose que du bioxalate de potasse. L'eau mère contenait du jaune amer; elle a donné, par l'évaporation, des cristaux lamelleux d'acide oxalique. Au reste, je n'ai point obtenu d'acide mucique; à la vérité, dans cette réaction, je n'ai employé que 3 grammes de mucilage desséché.

Le mucilage d'orme n'est point troublé par l'alun ni par l'acétate d'alumine. Le sulfate ferrique lui communique, ainsi qu'à celui du tilleul, une couleur noirâtre due à la présence d'un peu d'acide tannique. L'acétate de plomb et l'acétate de cuivre y forment des précipités abondants. Il est aussi précipité par l'eau de chaux et l'eau de baryte; mais le sublimé corrosif et le chlorure de calcium n'y produisent aucun changement.

Propriétés de la substance glaireuse des mucilages d'orme, de tilleul et de graine de lin.

J'ai dit que la substance glaireuse du mucilage d'orme n'y était retenue qu'en suspension et non en véritable dissolution: afin de la séparer d'une autre matière soluble, d'apparence gommeuse, qui lui est associée, j'ai agité du mucilage d'orme d'une consistance épaisse, en y ajoutant successivement de l'alcool. Le mélange prend d'abord beaucoup de consistance; mais, par de nouvelles additions d'alcool, il arrive un moment où tout le mucilage semble en quelque sorte disparaître, et il reste en suspension une matière floconneuse extrêmement divisée, qui ne peut être séparée par le filtre. En abandonnant le mélange au repos pendant vingt-quatre heures, après l'avoir exposé à la chaleur, il se rassemble un dépôt qui, étant séparé de la liqueur par décantation, est repris par un peu de nouvel alcool, se contracte davantage, et permet de le séparer par expres-

sion à travers un linge. On peut aussi isoler la même substance de la partie soluble qui lui est associée, en faisant macérer dans l'eau froide, par exemple du mucilage de graine de lin desséché, ou, mieux encore, en plaçant de la graine de lin mondée et lavée, dans un tamis de crin à larges mailles, plongé dans un vase en partie rempli d'eau, de manière que la graine soit affleurée par ce liquide. On laisse le tout en repos pendant vingt-quatre heures, après quoi la graine est fortement agitée avec de l'eau. Il en résulte une liqueur incolore, épaisse et visqueuse, laquelle, passée avec torsion à travers une toile à larges mailles, ne demande plus qu'à être évaporée avec ménagement jusqu'à sec. Ainsi obtenue, elle est presque incolore.

Précipitée par l'alcool du mucilage d'orme, de tilleul ou de graine de lin, elle est demi-transparente, inaltérable à l'air, insipide, inodore, et se laisse facilement réduire en poudre.

Un fragment de cette matière, mis en ébullition avec de l'eau, se ramollit à peine, sans se diviser, et reste parfaitement insoluble; si, au contraire, on la laisse plongée dans l'eau froide pendant vingt-quatre heures, elle se gonfle peu à peu, acquiert un volume considérable, s'épanouit en quelque sorte dans ce liquide sans se dissoudre. Si dans cet état on l'agite avec de l'eau, elle s'y divise tellement, qu'elle paraît dissoute; alors elle reproduit une liqueur transparente, épaisse, glaireuse, qui a tout à fait l'aspect du mucilage d'orme ou de graine de lin.

Une petite quantité de cette matière en poudre, délayée avec beaucoup d'eau, produit aussitôt un mucilage visqueux fort épais. Si l'on fait bouillir celui-ci pendant quelque temps, en y ajoutant de l'eau à mesure qu'elle s'évapore, il ne paraît pas changer de nature; cependant il se contracte sur lui-même, en sorte qu'il ne paraît plus avoir la même viscosité.

Le même principe visqueux hydraté provenant soit de l'écorce d'orme, de tilleul ou de la graine de lin, est neutre

au papier réactif. Il est coagulé par l'alcool et réduit à un très-petit volume; dans cet état, pressé dans du papier gris, il ressemble par son aspect fibreux à la fibrine du sang. L'éther ne change nullement son état glaireux; il est précipité par l'eau de chaux et par l'eau de baryte. Le nitrate mercureux, le sous-acétate de plomb, y forment des précipités gélatineux fort abondants. Le sulfate ferrique ne trouble point sa transparence; cependant, en filtrant le mélange, il en sort un liquide sans consistance.

Le chlorure de calcium n'y produit aucun effet; mais, en ajoutant au mélange un peu de potasse, il se produit un précipité caséiforme qui entraîne toute la matière visqueuse.

On peut, par ce moyen, précipiter immédiatement cette dernière de la décoction d'orme, de tilleul ou de graine de lin, et traiter le dépôt jusqu'à saturation avec de l'acide chlorhydrique affaibli, qui dissout la chaux et laisse la matière visqueuse; mais celle-ci étant facilement délayée par l'eau, il est très-difficile de la bien laver. La même substance glaireuse obtenue par l'alcool du mucilage d'orme, de graine de lin ou de tilleul, délayée dans l'eau légèrement acidulée par l'acide sulfurique, puis exposée à la chaleur, ne tarde pas à perdre entièrement sa viscosité pour se transformer en une matière d'apparence gommeuse soluble dans l'eau.

Cette matière de l'orme ou de la graine de lin, préalablement gonflée dans l'eau froide et réduite à l'état visqueux par l'agitation, étant mélangée avec de la dissolution de potasse, acquiert plus de consistance et prend un aspect gélatinoïde; mais en faisant bouillir le mélange, il perd entièrement sa viscosité. Il en résulte une dissolution, laquelle n'est point précipitée par les acides, et qui contient une matière ayant l'apparence d'une gomme.

La même substance glaireuse provenant de la graine de lin, étant délayée avec de l'infusion de noix de galle, finit par se troubler; en exposant le mélange à la chaleur pour

le réduire par l'évaporation, il devient transparent; mais après le refroidissement, il se prend en une masse blanche opaque, de laquelle on peut séparer, à l'aide d'une légère expression dans un linge, un liquide transparent. Cependant, d'après Vauquelin et M. Guérin, l'infusion de noix de galle ne fait éprouver aucun changement au mucilage de graine de lin. Au reste, la substance glaireuse de l'orme et du tilleul, traitée comme il vient d'être dit par l'infusion de galle, a été aussi troublée, mais d'une manière moins prononcée. La matière visqueuse, mélangée à un peu d'albumine et mise en ébullition, produit une liqueur lactiforme qui est troublée par les acides. Au surplus, à la distillation, elle fournit un produit qui contient de l'ammoniaque, et avec l'acide nitrique, du jaune amer, mais point d'acide mucique.

D'après les propriétés que je viens d'assigner à la substance visqueuse dont il s'agit, on voit qu'elle diffère des autres principes immédiats connus. On ne peut la confondre avec la bassorine, puisque cette dernière n'est point azotée et fournit de l'acide mucique. Comme j'ai constaté sa présence dans l'orme, le tilleul, la graine de lin, et aussi dans la graine de psyllium (1), c'est-à-dire dans des végétaux de familles fort différentes, il est très-probable qu'on la retrouvera dans une foule d'autres plantes.

Afin de la distinguer de ses congénères, je propose de lui donner le nom de *Linine*. Au reste, celle-ci paraît constamment associée à une matière azotée comme elle, d'apparence gommeuse, fournissant à la distillation un produit ammoniacal, du jaune amer avec l'acide nitrique, et dont la dissolution aqueuse peut être précipitée par l'infusion de noix de galle.

---

(1) *Journal de Chimie médicale*, 2e série, tome VII, page 513.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — MAI 1846.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN.			MIDI.			3 HEURES DU SOIR.			9 HEURES DU SOIR.			THERMOMÈTR.		ÉTAT DU CIEL A MIDI.	VENTS à MIDI.
	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Maxim.	Minim		
1	766,05	+14,1		765,63	+13,4		765,00	+15,1		765,32	+12,0		+16,6	+ 8,0	Beau	N. N. O.
2	763,83	+15,5		762,94	+17,0		761,39	+18,0		761,73	+13,5		+19,0	+ 6,2	Beau	N.
3	758,71	+14,6		757,68	+18,6		756,10	+19,5		755,49	+14,4		+20,0	+ 9,5	Quelques éclaircies	E. N. E.
4	753,04	+18,0		752,26	+20,9		751,05	+22,8		751,31	+15,6		+24,3	+ 9,3	Beau	E. N. E.
5	751,97	+15,7		751,33	+16,3		750,08	+16,9		749,06	+12,5		+16,8	+12,2	Couvert	S. S. O
6	748,54	+16,4		748,18	+16,6		748,13	+12,9		749,32	+10,9		+19,0	+ 9.5	Couvert	S. S. O.
7	751,92	+13,7		751,70	+17,1		751,51	+17,8		752,41	+12,4		+18,7	+10,0	Beau	S. O.
8	753,48	+18,3		753,56	+19,1		753,56	+18,4		755,16	+15,0		+18,8	+11,6	Couvert	O.
9	756,88	+16,3		756,58	+20,0		755,75	+21,2		755,51	+16,0		+22,3	+13,1	Beau	S. E.
10	756,17	+15,8		756,39	+16,6		757,04	+12,4		758,24	+13,2		+18,0	+13,8	Couvert	S. O
11	761,29	+14,7		760,53	+16,1		759,96	+17,0		759,18	+12,7		+17,6	+ 8,8	Couvert	O. S. O.
12	756,19	+16,5		754,39	+18,8		752,48	+19,9		750,47	+15,9		+20,9	+ 7,7	Nuageux	E.
13	747,32	+12,0		746,47	+15,0		746,30	+14,6		746,06	+12,0		+16,0	+10,1	Nuageux	O.
14	748,49	+10,1		749,71	+11,5		750,55	+12,5		752,52	+10,0		+12,8	+ 9,2	Couvert	N. E.
15	753,02	+11,0		752,11	+12,5		750,41	+13,8		749,34	+10,6		+14,4	+ 5,7	Couvert	N. E.
16	745,33	+ 9,6		744,16	+ 9,4		741,88	+12,2		739,97	+13,6		+15,0	+ 5,0	Pluie continuelle	N. E.
17	741,07	+13,4		740,94	+12,1		740,29	+10,4		739,35	+ 9,0		+12,0	+ 9,1	Pluie	S.
18	741,63	+10,4		740,44	+13,1		740,06	+13,4		743,13	+12,0		+14,7	+ 6,5	Pluie	S. fort.
19	745,07	+12,8		750,93	+13,6		751,69	+16,9		753,00	+11,2		+16,9	+ 9,8	Pluie	O. S. O.
20	750,45	+12,6		749,55	+11,5		749,28	+11,9		750,52	+ 9,7		+15,0	+ 9,7	Pluie	S. S. O.
21	752,28	+12,0		751,84	+15,3		752,08	+16,3		755,18	+10,6		+16,5	+ 7,0	Nuageux	S. S. O
22	759,75	+15,7		760,49	+17,4		760,33	+18,0		761,59	+15,0		+18,5	+ 8,0	Nuageux	E.
23	762,11	+17,5		761,61	+19,3		760,83	+21,2		761,09	+17,3		+21,8	+ 8,5	Beau	N. N. E.
24	761,87	+18,6		761,89	+21,2		761,60	+22,6		761,47	+19,1		+24,0	+10,1	Très-beau	N. E.
25	761,73	+18,6		760,74	+20,3		760,02	+21,3		759,77	+17,1		+23,0	+11,1	Nuageux	N. E.
26	759,87	+16,5		759,62	+19,0		758,98	+19,9		759,61	+15,9		+20,7	+11,1	Couvert	N.
27	759,81	+15,3		758,79	+16,6		757,74	+18,4		757,95	+14,5		+19,0	+10,0	Beau	N. N. E.
28	759,36	+14,9		759,57	+16,8		760,09	+16,2		762,14	+11,2		+17,7	+ 9,3	Nuageux	N. E.
29	763,34	+12,4		764,64	+14,5		763,98	+15,2		764,10	+13,3		+16,0	+ 7,0	Beau	E. N. E.
30	763,63	+16,5		762,72	+18,0		761,67	+20,6		760,74	+16,0		+21,2	+ 8,3	Très-beau	E.
31	760,18	+19,9		759,60	+22,6		758,72	+24,6		758,88	+20,5		+26,0	+ 9,3	Très-beau	E. N. E.
1	756,06	+15,8		755,63	+17,8		754,96	+17,5		755,36	+13,6		+19,4	+10,3	... Moy. du 1er au 10	Pluie en cent.
2	748,99	+12,3		748,92	+13,4		748,29	+14,3		748,35	+11,7		+15,5	+ 8,2	... Moy. du 11 au 20	Cour. 4.242
3	760,36	+16,2		760,14	+18,3		759,64	+19,5		760,23	+15,5		+20,4	+ 9.1	... Moy. du 21 au 31	Terr. 3,647
	755,21	+14,8		755,06	+16,5		754,47	+17,2		754,82	+13,6		+18,5	+ 9,2	... Moyenne du mois......	+ 13°,9

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR L'ÉLECTRICITÉ.

Sur la magnétisation de la lumière et l'illumination des lignes de force magnétique (1);

PAR M. FARADAY.

§ I. — *Action des aimants sur la lumière.*

1. J'avais depuis bien longtemps conçu l'idée, passée à l'état de conviction, que je partage avec plusieurs autres amis des sciences naturelles, que les diverses formes sous lesquelles les forces de la matière se manifestent ont une origine commune, ou, en d'autres termes, qu'elles ont une relation directe et une dépendance mutuelle qui fait qu'elles

(1) Le titre de ce Mémoire a, je le sais, prévenu beaucoup de savants contre son contenu, et c'est pour cela que je prends la liberté d'ajouter ici cette note explicative.

Sans accepter ni rejeter l'hypothèse d'un éther ou l'hypothèse corpusculaire, ou toute autre sur la nature de la lumière, comme je ne sache pas que l'on connaisse réellement ce que c'est qu'un rayon de lumière, pas plus qu'une ligne de force magnétique ou électrique, ou même une ligne de force gravitante, si ce n'est qu'elles se manifestent dans les corps et par eux; dans les expériences qui font l'objet de ce Mémoire, la lumière a été magnétiquement influencée, c'est-à-dire que ce qui est magnétique dans les forces de la matière a été influencé, et par contre a pu influencer ce qui est vraiment magnétique dans la lumière. Par le mot *magnétique* je comprends ici soit les forces particulières qui constituent la puissance d'un aimant, soit celles qui se manifestent dans les diverses classes de corps magnétiques ou diamagnétiques. Par cette phrase: *illumination des lignes de force magnétique,* on a compris que cela voulait dire que je les avais rendues lumineuses. Ce sens n'était pas dans ma pensée. Je n'ai pas voulu exprimer que les lignes de force magnétique sont illuminées comme la terre est illuminée par le soleil, ou comme la toile d'araignée est illuminée par la lampe de l'astronome. L'emploi d'un rayon de lumière nous permet de définir la direction des lignes magnétiques qui traversent un corps, et par l'altération du rayon lumineux et de son effet optique sur l'œil, on peut voir la marche de ces lignes aussi bien que nous pouvons voir la direction d'un fil de verre ou de toute autre substance transparente rendue visible par la lumière. C'est là ce que je voulais dire par ce mot *illumination,* comme le démontre suffisamment mon Mémoire.

peuvent se transformer l'une dans l'autre, et sont douées, dans leur action, de puissances équivalentes. Dans ces dernières années, les preuves de cette transformabilité se sont considérablement multipliées, et l'on a même commencé à déterminer leurs forces équivalentes.

2. Je fus conduit par cette conviction à faire quelques tentatives dans le but de découvrir le rapport direct qui peut exister entre la lumière et l'électricité, et leur action mutuelle sur des corps soumis à leur influence simultanée (1); mais j'obtins des résultats négatifs, résultats qui furent ensuite confirmés par M. Wartmann (2).

3. Ces essais infructueux, et quelques autres qui n'ont jamais été publiés, n'ont pu affaiblir en moi cette ferme persuasion dérivée de considérations philosophiques, et je repris encore dernièrement ces recherches par des expériences plus circonscrites et plus décisives, et j'ai enfin réussi à *magnétiser et à électriser un rayon de lumière*, et à *illuminer une ligne magnétique de force*. Sans entrer dans les détails d'un grand nombre d'essais infructueux, je vais décrire aussi brièvement et aussi clairement qu'il me sera possible, les résultats positifs auxquels je suis parvenu.

4. Mais je veux définir auparavant certains termes dont j'aurai occasion de me servir; j'entends par *ligne de force magnétique*, *ligne magnétique de force*, ou *courbe magnétique*, l'action d'une force magnétique qui s'exerce sur les lignes qu'on désigne ordinairement sous le nom de *courbes magnétiques*, partant d'un pôle magnétique ou qui se dirigent vers un point de cette nature, ou qui forment des cercles concentriques autour d'un courant électrique.

Par *ligne de force électrique*, je veux désigner la force qui s'exerce dans la direction de la ligne qui joint deux corps agissant l'un sur l'autre suivant les lois de l'induction

(1) *Transactions philosophiques*, 1834.
(2) *Archives de l'électricité*, tome XI, pages 596-600.

électrique statique. Cette direction peut être aussi une ligne courbe ou une ligne droite.

Enfin, j'appelle *corps diamagnétique* un corps que traversent des lignes de force magnétique, et qui, sous leur influence, ne prend pas l'état magnétique ordinaire du fer ou d'un aimant naturel.

5. Un rayon de lumière provenant d'une lampe d'Argant, après avoir été polarisé dans un plan horizontal par réflexion à la surface d'une plaque de glace, était reçu par un prisme de Nichol, mobile autour d'un axe horizontal, de manière à pouvoir être examiné facilement par ce prisme. Entre le miroir polariseur et le prisme, étaient disposés deux puissants pôles électromagnétiques : les deux pôles d'un aimant en fer à cheval, ou les pôles contraires de deux aimants cylindriques; la distance de ces deux pôles était d'environ 2 pouces dans la direction du rayon lumineux. Ces pôles étaient disposés de telle sorte que lorsqu'ils étaient d'un même côté du rayon polarisé, celui-ci pût passer très-près d'eux, et que lorsqu'ils étaient l'un d'un côté et l'autre de l'autre, le rayon lumineux pût passer entre eux, sa direction étant toujours parallèle, ou à peu près, aux lignes de force magnétique (4).

De cette manière, toute substance transparente placée entre les deux pôles sera traversée à la fois par le rayon polarisé et par les lignes de force magnétique, dans le même temps et dans la même direction.

6. Il y a seize ans, j'ai publié certaines expériences faites sur un verre optique (1), et j'ai décrit la préparation et les caractères généraux d'une variété de verre pesant, que, d'après sa composition, on peut appeler *borosilicate de*

---

(1) *Transactions philosophiques*, 1830. Je saisis avec empressement l'occasion qui s'offre ici de citer M. Anderson, qui me fut d'un grand secours dans mes recherches sur le verre, et qui depuis cette époque est toujours resté attaché au laboratoire de l'Institution royale. Il m'a assisté dans toutes les recherches que j'ai entreprises depuis cette époque, et je dois beaucoup à ses soins, à sa constance, à son exactitude, et à sa fidélité dans l'exécution de tout ce qui lui a été confié.

plomb. Ce fut ce verre qui, le premier, me fit découvrir la relation qui existe entre la lumière et le magnétisme, et il a le pouvoir de la mettre en évidence à un bien plus haut degré qu'aucune autre substance. Pour plus de clarté, je décrirai d'abord les phénomènes que présente cette substance.

7. Un morceau de ce verre, d'environ 2 pouces carrés et de $8^{po},5$ d'épaisseur, à faces planes et polies, fut placé comme corps diamagnétique (4) entre les pôles non encore aimantés par le courant électrique, de manière à faire passer le rayon polarisé dans le sens de sa longueur; ce verre se comportait comme l'air, l'eau ou tout autre corps indifférent pourrait le faire, et si alors le prisme était préalablement tourné de manière à éteindre le rayon polarisé, ou plutôt de manière à rendre invisible l'image qu'il produisait, l'introduction de ce verre ne changeait rien sous ce rapport. Si dans cet état de choses on développe la force de l'électro-aimant en faisant passer un courant électrique dans les spires de fil qui l'entourent, à l'instant l'image de la flamme de la lampe devient visible, et continue à l'être tant que dure la force magnétique. En arrêtant le courant électrique et faisant cesser ainsi l'action de la force magnétique, la lumière disparaît instantanément; ces phénomènes peuvent être répétés à volonté, à toute heure et dans toutes sortes de circonstances, et indiquent une parfaite dépendance entre la cause et l'effet.

8. Le courant voltaïque dont je me servis dans cette circonstance était produit par cinq paires de Grove, et les électro-aimants pouvaient porter un poids de 28 à 56 livres ou même plus. Un observateur qui verrait ce phénomène pour la première fois ne serait pas capable de le voir avec un aussi faible aimant.

9. Le caractère de la force qui agissait ici sur le corps diamagnétique est celui d'une rotation; car, lorsque l'image de la flamme de la lampe est ainsi rendue visible, la rotation plus ou moins grande du prisme, à droite ou à gauche

produit son extinction, et un déplacement plus considérable de ce prisme, de l'un ou de l'autre côté, fait reparaître la lumière avec des teintes complémentaires, suivant que ce déplacement s'opère à droite ou à gauche.

10. Lorsque le pôle le plus voisin de l'observateur était déterminé, par exemple le pôle correspondant au pôle nord d'une aiguille aimantée, la rotation du rayon était dextrorsùm, car le prisme devait être tourné à droite, ou à la manière d'une aiguille de montre, pour atteindre le rayon et ramener l'image à sa condition primitive. Lorsqu'on renversait les pôles, ce qui pouvait se faire instantanément par un simple changement de direction du courant électrique, le sens de la rotation changeait aussi et devenait sinistrorsùm, et le déplacement avait le même degré d'extension qu'auparavant. La direction était toujours la même pour la même ligne de force magnétique (4).

11. Lorsque le corps diamagnétique était placé dans une série d'autres positions faciles à concevoir, auprès des pôles magnétiques, les résultats obtenus étaient plus ou moins marqués sous le rapport de leur étendue, et parfaitement bien définis; mais le phénomène décrit précédemment peut en être considéré comme le type, et l'on y renverra par la suite toutes les fois que cela sera nécessaire.

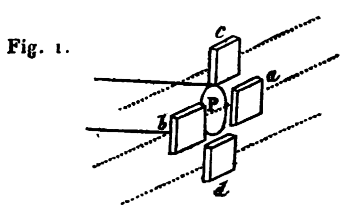
12. Les mêmes phénomènes se produisent dans le borosilicate de plomb (6), sous l'influence d'un fort aimant ordinaire d'acier en fer à cheval, sans courant électrique. Les résultats sont peu marqués, mais encore suffisants pour montrer la parfaite identité d'action des électro-aimants et des aimants ordinaires sur la lumière.

13. On employa deux pôles magnétiques à extrémités ouvertes, c'est-à-dire que les axes des électro-aimants étaient des cylindres de fer creux, et l'on fit passer le long de leurs axes, et à travers le corps diamagnétique placé entre eux, le rayon de lumière polarisé: l'effet fut encore le même.

14. On fit usage d'un seul pôle magnétique qui était l'une des extrémités d'un puissant cylindre électromagné-

tique. Lorsque le verre pesant fut placé auprès de l'aimant, en contact immédiat, mais entre l'aimant et le réflecteur polarisateur, la rotation se produisit dans un sens dépendant de la nature du pôle. Lorsque le corps diamagnétique était placé en contact avec la face opposée, entre l'aimant et l'œil, la rotation produite par le même pôle était de sens contraire à ce qu'elle était auparavant. Lorsque le pôle magnétique était changé, les deux directions changeaient avec lui.

Fig. 1.



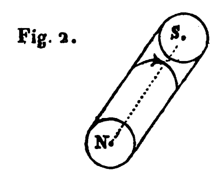
Lorsque le verre pesant était placé dans une position correspondante par rapport au pôle, mais au-dessus ou au-dessous de lui, de manière que les courbes magnétiques ne passassent plus dans le verre parallèlement au rayon de lumière polarisée, mais perpendiculairement à ce dernier, on n'observait aucun effet produit. Pour bien saisir ces particularités, il suffit de jeter les yeux sur la *fig.* 1, dans laquelle *a* et *b* représentent les premières positions du corps diamagnétique, *c* et *d* les dernières positions, et la ligne pointillée la direction du rayon lumineux. Si le verre est placé précisément à l'extrémité de l'aimant, aucun effet n'est produit sur un rayon passant dans la direction indiquée, bien qu'il soit évident, d'après ce qui a été dit précédemment (10), qu'un rayon passant parallèlement aux lignes magnétiques dans un verre ainsi placé doive être influencé par celui-ci.

15. Ainsi, des lignes magnétiques, en traversant du borosilicate de plomb et un grand nombre d'autres substances (28), rendent ces substances capables d'agir sur un rayon de lumière polarisée parallèle à ces lignes, ou dans un certain rapport avec ce parrallélisme ; si ces lignes sont

perpendiculaires au rayon, elles n'exercent sur lui aucune action.

Elles communiquent au corps diamagnétique le pouvoir de faire tourner le rayon, et la loi de cette action sur la lumière est que, si une ligne magnétique de force *part* d'un pôle nord, ou *vient* d'un pôle sud, suivant le chemin d'un rayon polarisé arrivant à l'observateur, elle fera tourner ce rayon vers la droite; si, au contraire, une ligne de force de cette nature vient d'un pôle nord ou part d'un pôle sud, elle fera tourner ce rayon vers la gauche.

Fig. 2.



16. Si nous représentons le corps diamagnétique par un bouchon de liége ou par un cylindre de verre, et qu'on marque ses extrémités par les lettres N et S, pour représenter les pôles d'un aimant, la ligne qui joint ces deux lettres, *fig.* 2, peut être considérée comme une ligne magnétique de force; si maintenant on trace autour du cylindre une ligne avec une pointe de flèche pour en représenter la direction, comme dans la figure, un simple modèle de ce genre, placé à la hauteur de l'œil, exprimera toute la loi et en donnera toutes les conséquences par ses diverses positions.

Si l'on suppose qu'une montre représente le corps diamagnétique, et qu'on imagine le pôle nord d'un aimant placé devant sa face et un pôle sud contre son fond, le mouvement des aiguilles indiquera le sens de la rotation que subira un rayon de lumière sous l'influence magnétique.

17. Je passe maintenant aux diverses circonstances qui affectent, limitent et définissent l'étendue et la nature de cette nouvelle puissance d'action sur la lumière.

18. D'abord, la rotation paraît proportionnelle à l'éten-

due de substance diamagnétique parcourue par le rayon et par la ligne magnétique. Je maintins constants l'énergie de l'aimant et l'intervalle de ses deux pôles, et je plaçai successivement entre ces pôles différentes pièces du même verre pesant (6). Plus est grande l'étendue de la substance diamagnétique dans la direction du rayon, que cette substance soit formée d'une seule, de deux ou de trois pièces, plus est considérable la rotation du rayon; et, autant que j'en ai pu juger par ces premiers essais, la quantité de la rotation est proportionnelle au chemin parcouru par le rayon dans la substance diamagnétique. L'augmentation ou la diminution de la masse de verre pesant à côté du chemin du rayon ne paraît amener aucune différence dans l'effet produit par cette partie que traverse le rayon.

19. Le pouvoir de faire tourner le rayon lumineux augmente avec l'intensité des lignes magnétiques de force. Cet effet général est très-facile à constater par l'emploi d'électro-aimants; dans les limites de puissance que j'ai employées, ce pouvoir paraît directement proportionnel à l'intensité de la force magnétique.

20. D'autres substances que le verre pesant possèdent le même pouvoir d'agir sur la lumière sous l'influence d'une force magnétique (27). Lorsque ces corps possèdent eux-mêmes un pouvoir rotatoire propre, comme l'essence de térébenthine, le sucre, l'acide tartrique, les tartrates, etc., l'effet de la force magnétique est d'augmenter ou de diminuer leur pouvoir spécifique, suivant que la rotation naturelle et celle qui leur est donnée accidentellement par le magnétisme est dextrorsùm ou sinistrorsùm (85).

21. Je ne me suis pas aperçu que ce pouvoir fût modifié par un mouvement quelconque communiqué au corps diamagnétique, pendant qu'il était en même temps soumis à l'action du magnétisme et de la lumière.

22. L'interposition du cuivre, du plomb, de l'étain, de l'argent, et d'autres corps ordinairement non magnétiques, dans le chemin des courbes magnétiques, soit entre le pôle

et le corps diamagnétique, soit dans d'autres positions, ne produit aucun effet sur la nature ou sur l'intensité du phénomène.

23. Le fer agit souvent sur les résultats à un très-haut degré; mais cet effet paraît toujours dû, soit à une altération dans la direction des lignes magnétiques, soit à une diminution de leur intensité active. Ainsi, lorsque les deux pôles contraires sont placés d'un même côté du rayon polarisé (4), et que le verre pesant est dans sa meilleure position entre eux (6), la présence d'un gros morceau de fer auprès du verre, de l'autre côté du rayon, peut diminuer le pouvoir rotatoire de la substance diamagnétique. Cela tient à ce que certaines lignes de force magnétique qui, d'abord traversaient le verre parallèlement au rayon, croisent maintenant le verre et le rayon, parce que le fer donne deux pôles contraires opposés aux pôles de l'aimant, qui détermine une nouvelle direction pour une partie du pouvoir magnétique, et cette partie croise le rayon polarisé.

24. Si le fer, au lieu d'être placé du côté du verre opposé à l'aimant, était placé du même côté que lui, dans son voisinage ou au contact, le pouvoir de la substance diamagnétique diminue, parce que la puissance de l'aimant est détournée dans une nouvelle direction. Ces effets dépendent donc beaucoup de l'énergie et de la puissance de l'aimant, du volume et de la bonne qualité du fer.

25. Les électro-hélices (45) sans axes en fer ont une puissance très-faible, et exercent un effet à peine sensible. Lorsqu'elles sont munies d'axes en fer, elles acquièrent beaucoup de puissance, bien que la quantité d'électricité qui passe dans leurs spires ne soit pas plus considérable qu'auparavant (26). Ceci montre d'une manière très-simple que les phénomènes produits par la lumière, dans les circonstances qui nous occupent, sont liés directement avec la forme de la force magnétique combinée avec l'arrangement. Ce point s'éclaircit par un autre effet qui se produit lorsqu'on établit

le contact avec la batterie voltaïque, et que le courant passe autour de l'électro-aimant; l'image produite par la rotation du rayon polarisé n'acquiert pas immédiatement toute son intensité, mais cette intensité augmente pendant une couple de secondes, et arrive graduellement à son maximum : en supprimant le contact, elle diminue instantanément, paraît et disparaît tout d'un coup. L'accroissement graduel de l'intensité lumineuse est due au temps qu'exige l'axe de fer de l'aimant pour développer la puissance magnétique que le courant électrique peut faire naître en lui; et, comme le magnétisme augmente d'intensité, son effet sur la lumière augmente de même en puissance : de là les circonstances progressives de la rotation.

26. Je n'ai pu encore remarquer dans ce verre pesant (6), lorsqu'il est dans cette condition, c'est-à-dire lorsqu'il est traversé par des lignes magnétiques de force, aucun accroissement, aucune action magnéto-inductrice spécifique de la nature de celle que nous connaissons. J'en ai placé des quantités considérables, dans diverses positions, entre des aimants et des aiguilles aimantées, et je n'ai rien pu observer, quelque délicats que fussent mes procédés pour apprécier la plus petite différence.

27. En construisant des appareils ayant la forme de thermomètres très-sensibles, contenant de l'eau, de l'alcool ou d'autres liquides, je n'ai pu apercevoir la moindre variation de volume lorsqu'ils étaient dans le rayon d'activité des courbes magnétiques.

28. Considérons maintenant l'influence du magnétisme sur la lumière, non-seulement dans le borosilicate de plomb (6), mais sur beaucoup d'autres substances. Nous reconnaîtrons d'abord que, si tous les corps transparents possèdent la propriété d'être sensibles à cette action, ils la possèdent à des degrés très-différents, et même qu'il en existe quelques-uns qui ne la paraissent pas posséder du tout.

29. Nous pouvons observer ensuite que des corps qui diffèrent considérablement les uns des autres par leurs propriétés chimiques, physiques et mécaniques produisent cet effet; car les solides, les liquides, les acides, les alcalis, les huiles, l'eau, l'alcool, l'éther possèdent tous cette propriété.

30. Enfin nous pouvons observer encore que, dans tous ces corps, bien que le degré d'action puisse différer, cette action est cependant toujours de la même nature et consiste en un pouvoir rotatoire exercé sur le rayon lumineux, et qu'en outre le sens de la rotation est, dans tous les cas, indépendant de la nature ou de l'état de la substance, et dépend de la direction de la ligne de force magnétique, suivant la loi exposée précédemment (15).

31. Parmi les substances dans lesquelles on trouve ce pouvoir actif, j'ai déjà cité le borosilicate de plomb (6) comme étant éminemment propre à mettre le phénomène en évidence.

Il est à regretter que cette substance soit la plus convenable pour ce genre d'expériences, parce qu'elle est assez rare, et que bien peu de personnes seront à même de pouvoir la préparer. Lorsqu'on la prépare soi-même, il est nécessaire de la bien recuire, car autrement les morceaux auraient un pouvoir dépolarisant considérable, et alors les phénomènes particuliers que l'on veut considérer seraient beaucoup moins nets. Le borate de plomb cependant, substance beaucoup plus fusible, ramollissable à la chaleur de l'huile bouillante, peut être préparé beaucoup plus facilement sous forme de plaques vitreuses bien recuites, et il possède le pouvoir magnéto-rotatoire à un presque aussi haut degré que le borosilicate lui-même. Le flint-glass possède cette même propriété, mais à un moins haut degré que les corps précédents. Le crown-glass la possède aussi, mais à degré plus faible encore.

32. Lorsque j'employais des corps cristallisés comme sub-

stances diamagnétiques, je les plaçais ordinairement dans une position dans laquelle ils fussent sans action sur les rayons polarisés, et c'est alors que je les soumettais à l'influence magnétique. Ils semblaient, en général, résister à l'introduction en eux du pouvoir rotatoire. Le sel gemme et le spath-fluor donnent d'assez faibles indices de ce pouvoir, et je pense que l'alun est dans le même cas; mais le chemin parcouru par le rayon dans la partie transparente était si petit, que je ne puis donner le fait comme bien positif. M. Tennant m'a donné deux échantillons de spath-fluor transparent, qui agissent efficacement.

33. Une épaisseur de 4 pouces de cristal de roche n'a donné aucun indice d'action sur le rayon; il en fut de même de cristaux plus petits et de cubes d'environ $\frac{3}{4}$ de pouce de côté, taillés de manière à avoir deux de leurs faces perpendiculaires à l'axe du cristal, bien qu'on les ait examinés dans toutes les directions.

34. Le spath d'Islande ne donne aucun indice d'effet produit, soit lorsqu'il est sous forme de rhomboèdre, soit lorsqu'il est taillé en cube dans les conditions indiquées précédemment pour le cristal de roche.

35. Le sulfate de baryte, le sulfate de chaux et le carbonate de soude sont également sans action sur la lumière.

36. Un morceau de glace transparente ne m'a rien donné non plus. Je ne pourrais cependant pas assurer que son effet fût nul, attendu que l'effet produit par une pareille masse d'eau est très-peu sensible, et que les irrégularités de surface produites par la fusion de la glace et l'écoulement de l'eau rendent l'observation très-difficile.

37. J'étais assez curieux de soumettre à l'influence magnétique l'or en feuille, mais mon espoir a été trompé; je n'ai pu observer aucun effet. Si l'on considère l'extrême petitesse du chemin parcouru dans cette substance par le rayon polarisé, on en conclura qu'il était peu permis d'espérer un résultat positif.

38. Lorsqu'on opère sur des liquides, une des meilleures méthodes à suivre consiste à les introduire dans des vases de 1 ½ à 3 ou 4 pouces de diamètre, et à placer ceux-ci successivement entre les pôles magnétiques (5), puis à placer le prisme analyseur si près du vase, que, par cette disposition, la forme cylindrique du vase donne une image un peu diffuse, il est vrai, mais suffisamment visible de la flamme de la lampe. La lumière de cette image se distingue facilement de celle qui passe par réfraction irrégulière à travers les stries et les imperfections du verre, et le phénomène, quoique vu dans cette lumière, est néanmoins facile à observer.

39. L'eau, l'alcool et l'éther sont tous efficaces et se rangent dans l'ordre suivant, sous le rapport de l'intensité : eau, alcool, éther. Toutes les huiles fixes que j'ai essayées, l'huile d'amandes, les huiles de castor, d'olive, de pavot, de graine de lin, de sperme, l'élaïne de la graisse de porc, et l'huile de résine distillée, jouissent aussi de cette propriété. L'essence de térébenthine, les essences d'amandes amères, de pointes de lavande, de lavande, de jasmin, de gérofle et de laurier sont dans le même cas.

Il en est de même des différentes sortes de naphte, du blanc de baleine fondu, du soufre en fusion, du chloride de soufre, du chloride d'arsenic et de plusieurs autres liquides que j'avais sous la main, et que j'ai pu soumettre à l'expérience sous un volume suffisant.

40. J'ai essayé au moins cent cinquante dissolutions aqueuses, entre autres des dissolutions d'acides solubles, d'alcalis, de sels, de sucre, de gomme, etc., dont il serait trop long de donner ici la liste, d'autant plus qu'elles ont, pour la plupart, donné des signes évidents de la propriété qui faisait l'objet de mon étude. Il est dès lors plus que probable que, dans tous ces divers cas, la substance rotative était l'eau, et non l'autre substance. On obtint le même résultat général avec des dissolutions alcooliques.

41. Passant des liquides à l'air et aux corps gazeux, je n'ai pu, malgré tous mes efforts, découvrir l'existence d'un pouvoir rotatoire dans aucune des substances de cette classe. J'ai fait des expériences avec des flacons de 4 pouces de diamètre sur les gaz suivants : oxygène, azote, hydrogène, protoxyde d'azote, gaz oléfiant, acide sulfureux, acide chlorhydrique, acide carbonique, oxyde de carbone, ammoniaque, acide sulfhydrique, vapeur de brome à la température ordinaire; mais tous ont donné des résultats négatifs. Pour plus d'exactitude, avec l'air, les expériences ont été faites avec une autre forme d'appareil, mais encore sans succès (67).

42. Avant d'abandonner l'examen des substances douées de cette propriété, et de celles qui, possédant naturellement le pouvoir rotatoire (19, 85), éprouvent dans ce pouvoir une influence plus ou moins marquée, je rappellerai que j'ai essayé l'huile de castor, l'huile de résine, l'huile de pointes de lavande, de laurier; le baume de Canada, une dissolution alcoolique de camphre, une dissolution alcoolique de camphre et de sublimé corrosif; des dissolutions aqueuses de sucre, d'acide tartrique, de tartrate de soude, de tartrate de potasse et d'antimoine, d'acide tartrique et d'acide borique, et de sulfate de nickel, qui tournait à droite; de baume de copahu, qui tournait à gauche; deux échantillons de camphène et d'essence de térébenthine, dont l'un tournait à droite et l'autre à gauche.

Dans tous ces exemples, comme je l'ai déjà dit (20), la rotation additionnelle sous l'influence magnétique se fit suivant la loi générale précédemment rapportée (14), et sans aucun rapport à la rotation primitive de la substance.

43. Du camphre fondu dans un tube d'environ 1 pouce de diamètre, doué d'un pouvoir rotatoire naturel considérable, ne m'a pas paru éprouver de modification additionnelle sous l'influence magnétique. Il se peut, cependant, que le peu de chemin parcouru par le rayon, et la quan-

tité de lumière colorée qui reste, même lorsque le prisme est placé dans la position la plus favorable pour éteindre l'image produite par le rayon naturel tourné, ait rendu insensible le pouvoir rotatoire magnétique du camphre.

§ II. — *Action des courants électriques sur la lumière.*

44. Si l'on considère la nature et la position des lignes de force magnétique et électrique, et le rapport qui existe entre un aimant et un courant électrique, il paraîtra hors de doute qu'un courant électrique doit exercer sur la lumière la même action qu'un aimant. Comme, dans une hélice, on peut employer une disposition d'appareil dans laquelle on peut soumettre à l'épreuve de grandes longueurs de substances diamagnétiques, et, particulièrement, de celles qui ne paraissaient que très-peu affectées par les pôles d'un aimant, l'expérience répondit à mon attente.

45. Je me suis servi d'hélices en fil de cuivre, et je vais donner quelques détails sur trois d'entre elles. La première, que j'appellerai *longue hélice,* avait 0,4 de pouce de diamètre intérieur; le fil dont elle était formée avait $0^{po},03$ de diamètre enroulé autour de son axe d'une extrémité à l'autre, puis revenant de la même manière, et formant ainsi une longueur de 65 pouces de longueur, double dans toute son étendue, et contenant 1 240 pieds de fil.

46. La seconde, que j'appellerai *hélice moyenne,* a 19 pouces de longueur, $1^{po},87$ de diamètre intérieur et 3 pouces de diamètre extérieur. Le fil qui la compose a $0^{po},2$ de diamètre et 80 pieds de longueur, disposé, comme le précédent, sur deux hélices concentriques. Le courant électrique, en le traversant, ne se divise pas, mais parcourt toute la longueur du fil.

47. La troisième, l'*hélice de Woolwich,* avait été construite, sous ma direction, pour l'établissement du lieutenant-colonel Sabine, à Woolwich. Elle a $26^{po},5$ de longueur, $2^{po},5$ de diamètre intérieur et $4^{po},75$ de diamètre

extérieur. Le fil a $0^{po},17$ de diamètre et 501 pieds de longueur. Cette hélice est formée de quatre spirales concentriques réunies bout à bout, de telle sorte que le courant électrique traverse toute la longueur du fil.

48. La longue hélice (45) agissait très-faiblement sur une aiguille aimantée placée à une petite distance; l'hélice moyenne (46) agissait plus puissamment, et l'hélice de Woolwich (47) très-énergiquement. On s'est servi, dans tous les cas, de la même batterie de dix paires de plaques de Grove.

49. Il était très-facile de soumettre les corps solides à l'action de ces électro-hélices; il suffisait, pour cela, de les tailler en forme de barres ou de prismes ayant leurs extrémités planes et polies, et de les introduire comme axes dans les hélices. Pour soumettre à la même action les corps liquides, on peut se servir de tubes de verre munis, à leurs extrémités, de garnitures en laiton munies d'une ouverture tubulaire pour l'introduction des liquides, et auxquelles s'adaptaient des obturateurs de verre plans et polis. Lorsque le tube devait contenir des liquides aqueux, les obturateurs étaient fixés aux garnitures, et les garnitures au tube avec du baume de Canada; lorsque le tube devait contenir de l'alcool, de l'éther ou des huiles essentielles, on employait comme ciment un mélange épais de gomme en poudre et d'un peu d'eau.

50. Les résultats généraux obtenus avec cette forme d'appareils sont les suivants : on a rempli d'eau distillée le tube placé dans la longue hélice (45), et on l'a disposé dans la direction du rayon polarisé, de manière à voir l'image de la flamme d'une lampe avec le prisme de Nichol.

On tourna alors ce dernier jusqu'à ce que l'image de la flamme disparût, et l'on fit passer dans l'hélice le courant de dix paires de plaques; à l'instant l'image de la flamme disparut, et persista tant que le courant électrique passa dans l'hélice; et, supprimant le courant, l'image disparut. La

lumière n'apparut pas graduellement, comme dans le cas d'un électro-aimant (25), mais instantanément.

Ces résultats peuvent être reproduits à volonté. Nous pouvons dire avec raison que, dans cette expérience, un rayon de lumière est électrisé, et les forces électriques illuminées.

51. On peut rendre les phénomènes encore plus frappants en adaptant, entre le tube et le miroir polarisant, une lentille de long foyer, ou une à court foyer entre le tube et l'œil.

Lorsque l'hélice, ou la batterie, ou la substance soumise à l'expérience, acquiert un faible pouvoir rotatoire, une pareille disposition est d'un grand secours pour mettre en évidence les effets produits; mais, lorsqu'on a acquis un peu d'expérience, on peut facilement s'en passer, et la réserver seulement pour les cas douteux.

52. Dans le cas où l'effet produit est peu sensible, il est beaucoup plus facile de constater si le prisme de Nichol, au lieu d'être placé dans la position de parfaite extinction du rayon, est placé un peu en deçà ou un peu au delà de cette position, de sorte que l'image de la flamme soit tout juste visible. Alors, par l'effet du courant électrique, la lumière augmentera ou diminuera d'intensité, ou sera éteinte, ou même réapparaîtra de l'autre côté du point d'extinction. Le changement est plus facile à saisir que si l'œil prenait pour point de départ l'extinction complète.

Un tel mode d'observation aide encore à démontrer le caractère rotatoire de l'action de la lumière; car, si la lumière est rendue visible d'avance par le mouvement du prisme dans un sens, et que le pouvoir du courant vienne à augmenter cette lumière, on peut en un instant, après avoir intercepté le passage du courant, faire mouvoir le prisme dans le sens opposé, jusqu'à ce que la lumière soit aussi apparente que la première fois, et alors l'action du courant tendra à la diminuer. Ces deux effets seront rendus sensibles par la variation des teintes.

53. Lorsque le courant circule dans l'hélice dans un sens, la rotation exercée par induction sur le courant a lieu dans un sens; lorsque le courant change de direction et passe en sens contraire, la rotation a lieu dans le sens opposé.

Pour exprimer clairement cette direction, je supposerai, comme on le fait ordinairement, que le courant va du zinc au platine, à travers l'acide, dans chaque case. Un pareil courant, passant sous le rayon vers la droite, et remontant vers la droite et passant au-dessus de ce même rayon vers la gauche, lui imprimera une rotation à gauche; ou bien si le courant passe au-dessus du rayon à droite, et descendant à droite et en dessous vers la gauche, il le fera tourner à droite.

54. Il est donc très-facile d'exprimer la loi suivant laquelle un courant électrique agit sur un rayon de lumière.

Lorsqu'un courant électrique circule autour d'un rayon de lumière polarisée, dans un plan perpendiculaire au rayon, elle imprime au rayon une rotation autour de son axe, dans le même sens que celui du courant, tant que dure l'influence de celui-ci.

55. La simplicité de cette loi, et son identité avec celle qui a été donnée comme exprimant l'action du magnétisme sur la lumière (16), est très-remarquable.

Il n'est pas nécessaire d'avoir une figure pour aider la mémoire; mais, si l'on jette un coup d'œil sur celle qui a été donnée précédemment (14), la ligne tracée autour de cette figure exprimera en même temps le sens du courant et celui de la rotation. Cette représentation sera même plus heureuse encore; en effet, si l'on considère le cylindre comme un morceau de fer, et non comme un morceau de glace ou de tout autre corps diamagnétique placé entre les deux pôles nord et sud, la ligne tracée autour de ce cylindre représentera la direction des courants qui, dans la théorie d'Ampère, se meuvent autour de ses particules; ou bien, si l'on considère ce cylindre comme un axe de fer (au lieu d'un axe d'eau), autour duquel circule un courant électrique dans la

direction de la ligne, il représentera aussi un aimant semblable à celui qui serait formé si le cylindre était placé entre des pôles de la nature de ceux qui sont indiqués à ses extrémités.

56. Je vais faire certaines remarques relatives à l'intensité de cette action dans diverses circonstances. Lorsqu'on emploie un tube d'eau (49) de la longueur de l'hélice, mais qu'on le place de manière qu'une partie plus ou moins grande dépasse l'hélice à l'une ou l'autre de ses extrémités, on peut, jusqu'à un certain point, évaluer l'effet de la longueur du corps diamagnétique, la force de l'hélice et celle du courant restant les mêmes.

Plus est grande la longueur de la colonne d'eau soumise à l'influence de l'hélice, plus est considérable la rotation du rayon polarisé; la quantité de la rotation paraît être directement proportionnelle à la longueur de la colonne liquide autour de laquelle passe le courant électrique.

57. Un court tube d'eau, ou un morceau de verre pesant, placé dans l'axe de l'hélice de Woolwich (47), paraît produire le même effet sur le rayon de lumière, soit qu'on le place au milieu de l'hélice ou à l'une de ses extrémités, pourvu qu'il soit toujours entièrement dans l'hélice et placé suivant son axe. Il semble, d'après cette expérience, que chaque partie de l'hélice produit le même effet, et qu'en se servant de longues hélices, on peut soumettre à ce genre d'épreuve des substances qu'on ne pourrait pas placer sur une assez grande longueur entre les pôles des aimants (5).

58. Un tube d'eau de la longueur de l'hélice de Woolwich (47), mais de $0^{po},4$ seulement de diamètre, fut placé dans l'hélice parallèlement à l'axe, mais tantôt dans l'axe, tantôt un peu de côté. Je n'ai pas aperçu de différence dans l'effet produit dans ces diverses positions, et je suis porté à croire, sans pouvoir toutefois l'affirmer positivement, que l'action exercée sur le rayon est la même quelle que soit, par rapport à l'axe, la position du tube dans

l'hélice. On obtient le même résultat avec un tube d'eau plus large, soit que le rayon passât par l'axe commun de l'hélice et du tube, soit qu'il passât sur le côté.

59. Si l'on introduit dans l'hélice des corps doués d'un pouvoir rotatoire naturel, le pouvoir rotatoire communiqué par le courant électrique s'ajoute au premier, exactement comme dans les exemples décrits dans le cas de l'action magnétique (20, 42).

60. On a construit en fil de cuivre non recouvert de soie, de $0^{po},05$ de diamètre, en spirales fermées, une hélice de 20 pouces de longueur et de $0^{po},3$ de diamètre, et on l'a introduite dans un large tube d'eau, de manière à permettre d'étudier le liquide au moyen du rayon polarisé dans l'intérieur de l'hélice et en dehors de cette hélice. Lorsqu'on fit passer le courant à travers l'hélice, l'eau acquit le pouvoir rotatoire dans l'intérieur; on ne vit aucune ligne d'action de cette nature en dehors de l'hélice, même lorsque le rayon lumineux passe presque en contact du fil nu.

61. On a remplacé le tube de verre par des tubes de laiton et de cuivre; mais ce changement de nature de l'enveloppe n'a pas paru produire le moindre changement dans l'effet produit sur l'eau contenue dans ces divers tubes.

62. On a mis un tube de laiton plein d'eau dans un tube de fer beaucoup plus long que l'hélice de Woolwich, ou que le tube de laiton, et de $\frac{1}{8}$ de pouce d'épaisseur. Lorsque le système fut placé dans l'hélice de Woolwich (47), la rotation imprimé au rayon lumineux par l'eau parut la même que dans les expériences précédentes.

63. Une barre de fer de 1 pouce carré, plus longue que l'hélice, fut placée dans cette dernière, et l'on a placé au-dessus le petit tube à eau (57). L'eau exerça encore la même action qu'auparavant sur la lumière.

64. On a choisi trois tubes de fer, de chacun 27 pouces de longueur et de $\frac{1}{8}$ de pouce d'épaisseur, de diamètres con-

venables pour entrer l'un dans l'autre facilement, et le tout dans l'hélice de Woolwich (47). Le plus petit fut rempli d'eau et muni, à ses extrémités, d'obturateurs en verre, puis placé dans l'axe de l'hélice, et l'on nota le pouvoir rotatoire exercé sur le rayon polarisé. On introduisit alors ce petit tube dans le second, de manière à élever à $\frac{2}{8}$ de pouce l'épaisseur de fer comprise entre l'eau et l'hélice; le pouvoir rotatoire devint plus considérable qu'auparavant. En plaçant dans le troisième tube le système des deux premiers, le pouvoir rotatoire de l'eau diminua, mais resta encore très-considérable. Ces résultats sont compliqués, parce qu'ils dépendent de la nouvelle condition que le fer introduit dans l'action des forces que nous étudions. Jusqu'à une certaine limite, par l'accroissement d'intensité des forces magnétiques, l'hélice et le corps placé dans son axe produisent ensemble un accroissement d'action sur l'eau; mais, passé cette limite, par l'accroissement de la quantité de fer et la disposition des forces qui le traversent, l'action exercée sur l'eau peut être détournée en partie, et la rotation, qui en est l'effet, amoindrie.

65. Le verre pesant (6), placé dans des tubes de fer dans les hélices, produit des effets semblables.

66. J'ai soumis à l'action d'un courant électrique, dans une hélice, et de la manière indiquée précédemment, les substances suivantes : le verre pesant (6, 31), l'eau, une dissolution de sulfate de soude, une dissolution d'acide tartrique, l'alcool, l'éther et l'essence de térébenthine; toutes ces substances éprouvèrent une action et agirent sur la lumière précisément comme lorsqu'elles étaient soumises à l'action magnétique (28).

67. J'ai soumis avec beaucoup de soin et avec beaucoup d'attention l'air à l'influence de ces hélices, mais je n'ai pu découvrir aucune trace d'action sur un rayon de lumière polarisé. J'ai placé la longue hélice (45) dans les deux autres (46, 47), et je les ai disposées en une série unique,

de manière à accumuler leurs puissances; mais il m'a été impossible d'observer le moindre effet produit sur la lumière qui passait dans l'air.

68. Lorsqu'on se sert d'hélice, il est nécessaire d'être en garde contre un effet qui pourrait amener de la confusion et de l'incertitude. D'abord, le fil de la longue hélice (45) fut enroulé directement sur le même tube de verre qui contenait le liquide à examiner; lorsque le courant électrique passait à travers l'hélice, il élevait la température du métal, et celui-ci élevait graduellement la température du verre et la pellicule d'eau qui se trouvait en contact avec ce dernier; dans ces conditions, le cylindre d'eau, plus chaud à la surface que dans le voisinage de son axe, agissait comme une lentille recueillant et envoyant des rayons lumineux à l'œil, et continuant d'agir pendant quelque temps après la suppression du courant. En séparant de l'hélice le tube à eau, et en prenant quelques autres précautions, cette source d'erreur peut être facilement évitée.

69. Une autre circonstance dont l'expérimentateur doit se défier est la difficulté, je dirais presque l'impossibilité de se procurer des morceaux de verre qui, surtout après la taille, ne dépolarisent pas la lumière; lorsqu'ils la dépolarisent, la différence de position produit une immense différence dans les apparences. En se reportant toujours à la partie non dépolarisée, à la croix noire par exemple, et en plaçant l'œil aussi près que possible du verre, cette difficulté peut être surmontée avec plus ou moins de succès.

70. Pour donner une idée générale de la valeur numérique de cette force rotatoire d'induction dans deux ou trois substances, et sans aucune prétention à l'exactitude des nombres, je vais donner d'une manière sommaire le résultat de quelques essais de mesure de cette force, et comparer ce résultat avec le pouvoir naturel d'un échantillon d'essence de térébenthine. On s'est servi d'un puissant électro-aimant, dont les pôles avaient une distance *constante*

de 2 ½ pouces. On plaçait dans cet intervalle différentes substances; la quantité de la rotation du prisme oculaire était observée à plusieurs reprises, et l'on en prenait la moyenne pour l'expression de la rotation du rayon pour la longueur du chemin parcouru dans la substance employée. Lorsque les substances n'étaient pas observées sur la même longueur, le chemin parcouru était, par le calcul, ramené à une longueur-type, dans l'hypothèse que la rotation est proportionnelle à la longueur (18). On observa d'abord l'essence de térébenthine dans son état naturel, c'est-à-dire sans action magnétique. En prenant l'eau pour unité, on a trouvé les nombres suivants :

Essence de térébenthine........	11,8
Verre pesant.................	6,0
Flint-glass....................	2,8
Cristal de roche..............	2,2
Eau..........................	1,0
Alcool........................	Moins que l'eau.
Éther	Moins que l'alcool.

71. Je ferai remarquer, par rapport à l'action des forces magnétiques et électriques sur la lumière, que, pour connaître les conditions sous lesquelles il n'y a pas d'action apparente, il reste à ajouter quelque chose à nos connaissances sur leurs rapports mutuels. Je vais donc indiquer en peu de mots comment j'ai, dernièrement, combiné ces forces pour n'obtenir aucun résultat apparent.

72. On a fait passer dans le verre pesant, dans le flint-glass, le cristal de roche, le spath d'Islande, l'essence de térébenthine et dans l'air, un rayon polarisé; on fit passer en même temps des lignes de tension électro-statique, au moyen d'armatures, d'une bouteille de Leyde et d'une machine électrique, à travers ces corps, parallèlement au rayon polarisé, et perpendiculairement dans le plan de polarisation et dans des sens croisés, mais sans aucun effet visible. On dirigea, sur les mêmes corps et sur l'eau (comme électrolyte), la tension d'un courant secondaire d'induction rapi-

dement récurrent, et l'on obtint le même résultat négatif.

73. J'ai combiné, dans différentes directions, l'action d'un rayon polarisé, de puissantes lignes de force magnétique et de force électrique sur le verre pesant; mais je n'ai pas obtenu d'autre résultat que celui qui est dû à l'action mutuelle, déjà décrite dans ce Mémoire, des lignes de force magnétique sur la lumière.

74. On a combiné, de toutes les manières possibles et à l'aide de divers électrolytes, un rayon polarisé et des courants électriques; les substances employées sont : l'eau distillée, une dissolution de sucre, l'acide sulfurique étendu, une dissolution de sulfate de soude, en prenant des électrodes de platine; une dissolution de sulfate de cuivre, en prenant des électrodes en cuivre. On a fait passer le courant auprès du rayon et perpendiculairement dans deux directions à angle droit, l'une par rapport à l'autre; on a fait tourner le rayon en changeant la position du miroir polarisant, pour faire varier le plan de polarisation; on a employé un courant continu, un courant rapidement intermittent, un double courant d'induction rapidement alternatif; mais on n'aperçut, dans aucun cas, aucune trace d'action.

75. Enfin on a dirigé de toutes les manières possibles un rayon de lumière polarisée, des courants électriques et des lignes de force magnétique, à travers l'acide sulfurique étendu et une dissolution de sulfate de soude, mais avec un succès encore négatif, excepté dans les positions où sont produits les phénomènes déjà décrits. Dans une de ces dispositions, le courant passait dans une direction rayonnante d'un électrode central à un électrode circonférentiel, et les pôles magnétiques contraires étaient placés au-dessus et au-dessous. Les dispositions étaient si heureusement combinées que, lorsque le courant électrique passait, le liquide tournait avec rapidité; un rayon polarisé, passant transversalement dans cet arrangement, ne fut pas du tout influencé. De plus, lorsque le rayon traversait verticalement, et que

l'on amenait le prisme oculaire à correspondre à la rotation imprimée au rayon, dans cette position, par les courbes magnétiques seules, la superinduction due au passage du courant électrique ne produisit pas la plus petite différence dans l'effet produit sur le rayon.

§ III. — *Considérations générales.*

76. Ainsi se trouvent établis, pour la première fois (1), je pense, un rapport direct, une dépendance véritable entre la lumière, les forces magnétiques et les forces électriques, et les expériences que nous venons de décrire ajoutent de nombreuses preuves à l'appui des faits et des considérations qui tendent à prouver que toutes les forces naturelles sont liées entre elles et ont une origine commune (2). Sans doute il est difficile, dans l'état actuel de nos connaissances, d'exprimer nos vues en termes précis; et, au lieu d'annoncer que l'une des grandes forces de la nature se trouve, par ces expériences, rattachée directement aux autres, je devais, peut-être, plutôt dire que l'une des formes de la grande puissance naturelle se trouve évidemment et directement rattachée aux autres formes, ou que la grande puissance, manifestée sous une forme particulière par des phénomènes particuliers, se trouve identifiée et reconnue par le rapport

(1) Je dis *pour la première fois*, parce que je ne pense pas que les expériences de Morichini sur la production du magnétisme par les rayons violets extrêmes du spectre prouvent l'existence d'une relation de ce genre. Lorsque j'accompagnai à Rome sir H. Davy en mai 1814, je passai plusieurs heures chez Morichini, travaillant avec son appareil et sous sa direction; mais je ne pus réussir à aimanter une aiguille. Je n'ai aucune confiance dans cet effet, considéré comme résultat *direct* de l'action des rayons solaires; mais je pense que, lorsqu'il s'est présenté, c'était comme effet secondaire, accessoire, et peut-être même accidentel, puisqu'il peut très-bien arriver que l'aiguille conserve pendant toute la durée de l'expérience sa position nord-sud.

(2) 2 janvier 1846.— Je n'aurais pas écrit « *pour la première fois* » comme je l'ai fait, si je m'étais rappelé les expériences de M. Christie, et ses Mémoires sur l'influence des rayons solaires sur les aimants, insérés dans les *Transactions philosophiques* pour 1826, p. 219, et pour 1828, p. 379. M. F.

direct de sa forme lumineuse à sa forme électrique et magnétique.

77. La relation qui existe entre la lumière polarisée, le magnétisme et l'électricité est beaucoup plus digne d'intérêt que si on l'eût reconnue avec la lumière ordinaire. Comme la lumière possède, sous certains rapports, des propriétés et des caractères plus précis par la polarisation, les faits que nous venons d'étudier la comparent et l'unissent à ces puissantes forces, dans ce double caractère qu'elle possède, et nous ouvrent une voie qui nous manquait, jusqu'à présent, pour appliquer ces forces à la recherche du secret de la nature de cet agent et des autres agents rayonnants.

78. En nous reportant aux définitions précédemment établies (3), nous pouvons dire que ce sont les lignes de force magnétique seulement qui sont efficaces sur les rayons de lumière, et seulement (en apparence) lorsqu'ils sont parallèles au rayon lumineux, ou lorsqu'ils tendent à lui être parallèles. Quant à la matière non magnétique à la manière du fer, les phénomènes d'induction électrique et d'électrolisation indiquent, pour les forces électriques, une grande supériorité d'énergie sur les forces magnétiques; de même ici, sous un autre point de vue, et dans les effets spéciaux et correspondants qui appartiennent aux forces magnétiques, celles-ci paraissent, à leur tour, jouir d'une grande supériorité et posséder leur pleine équivalence d'action sur la même espèce de matière.

79. Les forces magnétiques n'agissent pas sur un rayon lumineux directement et sans l'intervention d'un corps matériel, mais bien par l'intermédiaire de la substance dans laquelle elles coexistent avec le rayon lumineux; ces substances et ces forces se communiquent réciproquement le pouvoir d'agir sur la lumière. Ce fait est démontré par la non-action du vide, de l'air et des gaz; il est encore démontré par le degré spécial auquel les diverses substances pos-

sèdent cette propriété. Cette force magnétique, agissant toujours sur la lumière avec le même caractère, de la même manière et dans le même sens, indépendamment de la différence des variétés de substances soumises à son action, ou de leur état de solidité ou de liquidité, ou de leur pouvoir rotatoire spécifique (87), montre qu'il existe un rapport direct entre la force magnétique et la lumière; mais, d'un autre côté, comme les corps sont nécessaires et qu'ils agissent à différents degrés, cette circonstance nous montre que le magnétisme et la lumière agissent l'un sur l'autre par l'intermédiaire de la matière.

80. Puisque les pouvoirs dont la matière est douée suffisent pour la faire reconnaître, et que nous ne faisons dériver de l'idée de ces pouvoirs aucune liaison imaginaire, les phénomènes décrits dans ce Mémoire ont augmenté beaucoup la confiance que j'avais dans les vues que j'avais émises dans une autre occasion sur la nature de ces forces (1).

81. Je n'ai plus le moindre doute que les forces magnétiques agissent et influent sur la constitution intime des substances diamagnétiques, aussi bien dans l'obscurité que lorsqu'un rayon de lumière les traverse. Je pense que les phénomènes lumineux paraissent, en outre, présenter les seuls moyens précis d'observer cette constitution et les changements qu'elle éprouve.

Au reste, des changements de cette nature doivent arriver aux corps opaques, comme le bois, les pierres, les métaux; car, considérés comme corps diamagnétiques, ils ne doivent pas différer des corps transparents. Le degré de transparence peut tout au plus, sous ce rapport, établir une distinction entre les espèces d'une même classe.

82. Si les forces magnétiques avaient aimanté ces corps, nous aurions pu étudier des aimants transparents, ce qui eût été pour nous d'un grand secours dans nos recherches sur

(1) *Philosophical Magazine*, 1844, tome XXIV, page 135.

les forces de la matière ; mais ces corps, soumis à l'influence des forces magnétiques, ne deviennent pas des aimants (26), et, par conséquent, leur état moléculaire doit être alors spécifiquement distinct de celui du fer aimanté, ou de toute autre substance analogue, et doit constituer un nouvel état magnétique ; et comme cet état est un état de tension (manifesté par son retour instantané à l'état normal lorsqu'on écarte l'induction magnétique), il en résulte que la force que possède la matière dans cet état et son mode d'action doivent être pour nous une nouvelle force magnétique ou un nouveau mode d'action de la matière.

83. En effet, il est impossible, je pense, d'observer et de voir l'action de forces magnétiques augmenter d'intensité sur un morceau de verre pesant ou sur un tube d'eau, sans reconnaître en même temps que ces derniers possèdent des propriétés qui, non-seulement sont nouvelles pour la substance, mais encore sont soumises à des lois précises et parfaitement définies (15, 54), et ont un certain rapport d'équivalence avec les forces magnétiques qui les produisent.

84. Cet état est peut-être un état de tension électrique avec tendance au courant, de même que, dans les aimants, suivant la théorie d'Ampère, l'état magnétique est un état de courant. Tout nous porte à croire que, lorsqu'on place un axe de fer dans une hélice, il se produit dans celui-ci des courants électriques qui tournent ou se meuvent dans un plan perpendiculaire à l'axe de l'hélice. Si l'on place dans la même position un corps diamagnétique, il acquiert le pouvoir de faire tourner la lumière dans le même plan. L'état qu'il a reçu est un état de tension, mais il ne s'y est pas développé de courants, bien que la force active et toutes les autres circonstances soient les mêmes que celles qui produisent des courants dans le fer, le nickel, le cobalt et les autres substances de cette nature, lorsqu'elles sont convenablement placées. Il résulte de ce qui précède que l'idée d'admettre qu'il existe dans les corps diamagnétiques, dans

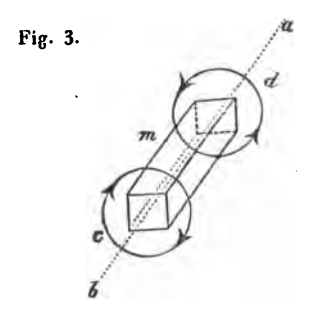
de pareilles circonstances, une tendance au courant, s'accorde avec les phénomènes que nous avons décrits, et elle est encore corroborée par ce fait, qu'un simple changement de température peut modifier considérablement la puissance magnétique du fer, du nickel et du cobalt, et les faire rentrer dans la classe commune des corps diamagnétiques.

85. C'est la première fois, je crois, que l'on reproduit artificiellement la condition moléculaire nécessaire pour produire la polarisation circulaire de la lumière. Il est extrêmement intéressant de comparer cet état bien connu, cette condition bien déterminée des corps, avec l'état relativement inconnu de ceux qui possèdent un pouvoir rotatoire, surtout si l'on considère que, parmi ces derniers, quelques-uns tournent vers la droite et d'autres vers la gauche, et que, dans le cas du quartz et de l'essence de térébenthine, le même corps, chimiquement parlant, qui se trouve être pour le dernier un liquide ayant ses particules libres et mobiles, présente des échantillons différents, dont les uns tournent dans un sens et les autres dans l'autre sens.

86. On serait d'abord porté à admettre que l'état rotatoire naturel, et celui qui dérive des forces magnétiques et des forces électriques, doivent être les mêmes, puisque l'effet paraît le même; mais, après un examen plus attentif, il semble très-difficile d'arriver à une telle conclusion. Lorsque l'essence de térébenthine exerce sur un rayon lumineux son pouvoir rotatoire, ce pouvoir dépend des particules du liquide, et non de l'arrangement de la masse. Quelle que soit, dans ce fluide, la direction du rayon polarisé, il est dévié circulairement, toujours de la même manière, et des rayons qui passent dans toutes les directions possibles à travers ce fluide sont tournés tous, simultanément, avec la même intensité, et suivant une loi commune de direction, c'est-à-dire tous vers la droite, ou tous vers la gauche; il n'en est pas ainsi de la rotation additionnelle communiquée

à la même essence de térébenthine par les forces magnétiques et par les forces électriques ; elle n'existe que dans une seule direction, c'est-à-dire dans un plan perpendiculaire à la ligne magnétique : elle est limitée à ce plan, et peut changer de sens et de direction par un changement de sens et de direction de la force d'induction. Le sens de la rotation produite par l'état naturel est lié invariablement à la direction du rayon lumineux; mais le pouvoir de produire cette rotation paraît être possédé, dans toutes les directions et à tous les instants, par les particules du fluide. Le sens de la rotation produite par l'induction est lié invariablement à la direction de la ligne magnétique ou du courant électrique, et les conditions de sa production sont possédées par les particules de la matière; mais les conditions sont strictement limitées par la ligne ou par le courant, et changent ou disparaissent avec ces derniers.

Fig. 3.



87. Soient *m*, *fig.* 3, une case de verre remplie d'essence de térébenthine, douée d'un pouvoir rotatoire naturel vers la droite, et *ab* un rayon de lumière polarisée.

Si le rayon va de *a* vers *b*, et que l'œil soit placé en *b*, la rotation aura lieu vers la droite, ou suivant le sens indiqué par les têtes de flèche sur le cercle *c*; si le rayon va de *b* vers *a*, et que l'œil soit placé en *a*, la rotation aura encore lieu vers la droite pour l'observateur, c'est-à-dire suivant le sens indiqué sur le cercle *d*. Que l'on fasse pas-

ser maintenant un courant électrique autour de l'essence de térébenthine dans le sens indiqué sur le cercle *c*, ou que l'on place des pôles magnétiques de manière à produire le même effet (10), les particules du liquide acquerront un pouvoir rotatoire ultérieur (que ne troublera aucun déplacement relatif de ces particules), et un œil placé en *b* verra le rayon venant de *a* vers *b* plus tourné vers la droite qu'auparavant; mais qu'un rayon passe de *b* vers *a*, et qu'on l'observe en *a*, et les phénomènes ne seront plus les mêmes qu'auparavant. En effet, la nouvelle rotation, au lieu d'avoir lieu dans le sens indiqué sur le cercle *d*, aura lieu en sens contraire, ou vers la gauche de l'observateur (55). En d'autres termes, la rotation d'induction s'ajoutera à la rotation naturelle quand le rayon ira de *a* en *b*; mais elle diminuera d'autant cette même rotation naturelle lorsque le rayon ira de *b* en *a*. Il résulte de là que les molécules de ce liquide qui exercent la rotation en vertu de leur pouvoir naturel, et celles qui l'exercent en vertu de la force d'induction, ne peuvent être dans les mêmes conditions.

88. Bien que toutes les molécules de l'essence de térébenthine possèdent le pouvoir de faire tourner la lumière, dans quelque direction que le rayon lumineux traverse le liquide, il peut très-bien arriver que le rayon ne soit influencé que par celles dont les plans de rotation lui sont plus ou moins perpendiculaires, et que ce soit la résultante ou la somme des forces suivant une certaine direction, qui soit active dans la production de cette rotation. Mais alors même il subsiste une différence considérable, en ce que la résultante, dans le même plan, n'est pas absolue en direction, mais relative à la marche du rayon, puisqu'elle est, dans un cas, dans le sens indiqué sur le cercle *c*, *fig.* 3, et, dans l'autre, dans le sens indiqué sur le cercle *d*; tandis que la résultante de l'induction magnétique ou électrique est absolue, et ne change pas avec la marche du rayon, puis-

qu'elle a toujours lieu, soit dans le sens indiqué sur le cercle *c*, soit dans le sens indiqué sur le cercle *d*.

89. Néanmoins, toutes ces différences disparaîtront sans doute ou s'harmoniseront à mesure que ces recherches s'étendront; leur existence même ouvre de nouvelles voies, dans lesquelles nous pourrons poursuivre nos recherches et pénétrer de plus en plus avant dans le secret des forces et de la constitution de la matière.

90. Les corps doués d'un pouvoir rotatoire naturel propre ne paraissent pas pour cela posséder une plus grande ou une moindre tendance à acquérir un degré ultérieur du même pouvoir sous l'influence des forces magnétiques ou électriques.

91. A part ces différences et quelques autres, nous pouvons voir une certaine analogie entre les corps qui possèdent constamment le pouvoir rotatoire, comme un échantillon de quartz, qui n'exerce de rotation que dans un plan, et ceux qui acquièrent ce pouvoir par induction ou par d'autres forces, comme un prisme de verre pesant dans une hélice, ou comme un aimant naturel et une hélice à travers laquelle passe le courant. L'état naturel de l'aimant et du quartz, et l'état forcé de l'hélice et du verre pesant, forment le lien d'analogie dans un sens, tandis que la supposition de courants existant dans l'aimant et dans l'hélice, et la simple tendance ou tension au courant dans le quartz et dans le verre pesant, établissent un lien dans le sens transverse.

92. Quant aux corps qui ne paraissent offrir, jusqu'à présent, aucun indice de pouvoir sur la lumière, et qui n'en acquièrent pas sous l'influence des nouvelles conditions magnétiques, ils peuvent être partagés en deux classes, dont l'une comprend l'air, les gaz et les vapeurs, et l'autre le cristal de roche, le spath d'Islande et certains autres corps cristallisés. Je montrerai, dans une prochaine série

de ces recherches, en me fondant sur des preuves tirées de phénomènes d'une nature entièrement différente, que les corps de la dernière classe acquièrent le nouvel état magnétique, et je suis même porté à croire que l'air et les gaz ont la faculté de prendre cet état particulier, et même d'agir sur la lumière, mais à un degré si faible, qu'on n'a pas encore pu le rendre sensible. D'un autre côté, l'état gazeux est un état si remarquable de la matière, que nous ne devons pas admettre trop témérairement que les substances qui, à l'état solide et à l'état liquide, possèdent des propriétés même d'un caractère très-général, les conservent toujours à l'état gazeux.

93. Le sel gemme, le spath-fluor et l'alun agissent sur le rayon lumineux; les autres cristaux que j'ai essayés n'agissent pas; les premiers sont équi-axes et monoréfringents, les autres sont inéqui-axes et biréfringents. Peut-être que ces circonstances, avec celle de la rotation du quartz, peuvent maintenant indiquer un rapport entre le magnétisme, l'électricité et la cristallisabilité de la matière.

94. Tous les corps sont sensibles à l'action des hélices ou des aimants, suivant des lois qui montrent que les causes de cette action sont identiques aussi bien que leurs effets. Ce résultat nous fournit encore une excellente preuve en faveur de l'identité des hélices et des aimants, en faveur des vues d'Ampère sur ce sujet.

95. La théorie de l'induction statique que je me suis hasardé à publier il y a déjà longtemps, et qui dépend de l'action des particules contiguës du corps intermédiaire diélectrique entre les corps inducteurs et les corps induits, me porte à admettre qu'on pourrait trouver dans l'action magnétique le même genre de dépendance des particules intermédiaires, et j'ai publié, il y a sept ans, quelques expériences et des considérations sur ce sujet. Je ne pus alors découvrir aucun état particulier de la substance intermédiaire; mais maintenant que je suis parvenu à démontrer

l'existence d'un tel état qui n'est pas seulement un état de tension (72), mais qui dépend entièrement des lignes magnétiques qui traversent la substance, je suis plus que jamais encouragé à considérer comme justes ces vues que j'avais avancées alors.

96. Bien que ni les forces magnétiques ni les forces électriques ne paraissent exercer d'action sur la lumière ordinaire ni sur la lumière dépolarisée, nous pouvons soupçonner hardiment qu'elles exercent quelque influence particulière, qu'on mettra probablement bientôt en évidence par l'expérience. On ne peut guère non plus s'empêcher d'admettre que les autres formes des agents rayonnants, comme la chaleur et la force chimique, soient soumis au même genre d'action.

97. Ce mode d'action magnétique et électrique, et les phénomènes auxquels il donne naissance, nous seront, je l'espère, d'un grand secours par la suite, dans les recherches sur la nature des corps transparents, de la lumière, des aimants, et sur la nature de leur action réciproque ou de leur action sur les corps magnétiques. Je suis actuellement engagé dans des recherches sur le nouvel état magnétique, et j'en communiquerai bientôt le résultat à la Société royale. Quels sont les effets possibles de cette force considérée dans la terre, dans les aimants, etc.; quels peuvent être les meilleurs moyens de faire produire par la lumière l'électricité et le magnétisme? Telles sont les idées qui occupent continuellement mon esprit. Mais il est préférable d'employer le temps et la pensée, secondés par l'expérience, à la recherche et au développement de vérités réelles, plutôt que de les employer à l'invention d'hypothèses qui peuvent être ou n'être pas fondées, bien que d'accord avec des faits.

SECOND MÉMOIRE SUR LE DOSAGE DU CUIVRE (1);

PAR M. J. PELOUZE.

Le Mémoire que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie est la suite et le complément de celui que j'ai lu devant elle, il y a peu de mois.

Dans cette première partie de mon travail, je n'avais indiqué que très-succinctement mon nouveau mode de dosage du cuivre, et j'avais annoncé que je le décrirais plus tard avec tous les développements convenables. Quoique je sache que, depuis cette époque, il ait été souvent employé avec succès, je crois que les détails dans lesquels je vais entrer ne seront pas inutiles, au moment surtout où il est question d'appliquer mon procédé dans plusieurs établissements publics. D'ailleurs, ce procédé est susceptible de quelques applications importantes que je ferai connaître dans ce Mémoire.

On se rappelle que mon procédé est fondé sur la propriété que présente le cuivre d'être précipité de ses dissolutions ammoniacales par le sulfure de sodium avant la plupart des autres métaux, et principalement avant le plomb, l'étain, le zinc, le cadmium, le fer, l'antimoine, le bismuth et l'arsenic.

Comme aucun de ces métaux ne donne des dissolutions colorées, il en résulte que le terme de la précipitation du cuivre est facile à saisir, puisqu'il est indiqué par la décoloration même des liqueurs où il se trouve.

Lorsqu'on effectue ces précipitations à la température ordinaire, l'analyse devient très-difficile et d'ailleurs peu exacte. En effet, le sulfure de cuivre hydraté se rassemble avec lenteur, il se sulfatise avec rapidité, et l'on ne peut

(1) *Voyez* le premier Mémoire, tome XVI, page 426.

empêcher qu'une petite quantité des autres métaux, particulièrement du plomb, ne soit précipitée en même temps que le sulfure de cuivre; ce qui le prouve, c'est qu'un volume de dissolution de sulfure de sodium, susceptible de décolorer complétement à froid une certaine quantité de dissolution ammoniacale de cuivre, cesse de suffire lorsque le cuivre a été préalablement mêlé à du plomb. Dans ce dernier cas, la liqueur ammoniacale conserve une teinte bleue très-prononcée.

Lorsqu'au contraire on porte les liqueurs à l'ébullition, il faut exactement le même volume de sulfure soluble pour précipiter le même poids de cuivre, que ce métal soit seul ou mêlé à ceux qui ont été indiqués précédemment.

Cette précipitation du cuivre sur laquelle est fondée la nouvelle méthode d'analyse, demande quelques explications.

Lorsqu'elle a été effectuée à la température ordinaire, on trouve dans le précipité le soufre et le cuivre unis dans le rapport d'équivalents égaux. C'est donc ici le sulfure ordinaire CuS, correspondant à l'oxyde noir CuO et au sulfure de sodium NaS; seulement il est hydraté.

Ce sulfure bien lavé, lorsqu'on le fait bouillir avec des dissolutions étendues de nitrate ou de sulfate de cuivre, les décolore. En ajoutant à ces dissolutions de l'ammoniaque, l'absorption de l'oxyde de cuivre par le sulfure est beaucoup plus rapide, et si la quantité d'ammoniaque est considérable, si le sel de cuivre est en excès, et que, d'un autre côté, la température ne dépasse pas 75 à 80 degrés, on trouve à l'oxysulfure une composition constante. Il est formé de $5CuS, CuO$. On peut en conclure que, dans les conditions indiquées, ce composé est sans action sur le nitrate et sur le sulfate de cuivre ammoniacal.

Cependant, si la température du mélange est portée au delà du terme indiqué, si elle s'élève à 90 degrés, et surtout à 95 et 100 degrés, cet oxysulfure peut absorber une nou-

velle quantité de cuivre et décolorer la liqueur bleue devenue beaucoup moins ammoniacale; alors, indépendamment d'un ou de plusieurs composés de sulfure de cuivre et d'oxyde de ce métal, une quantité assez considérable de cuivre est réduite à l'état de protoxyde et reste en dissolution dans les liqueurs sans les colorer, ce qu'on reconnaît facilement, soit avec le sulfure de sodium qui y produit un précipité noir, soit en décantant la liqueur claire et la soumettant à l'action de l'air ou du chlore, qui en déterminent la coloration en bleu.

De ces diverses expériences, il résulte que pour doser le cuivre allié aux métaux avec lesquels on le rencontre ordinairement, il faut éviter d'opérer à une température *très-basse* ou à une température *très-élevée*. Heureusement la chose est facile : l'oxysulfure $5CuS, CuO$ se forme déjà vers 50 à 60 degrés, et ce n'est qu'au delà de 80 ou 85 degrés qu'il commence à agir sur les sels de cuivre ammoniacaux : or il est très-facile de ne pas dépasser ce dernier terme; il faut même, pour l'atteindre, une ébullition très-prolongée de la liqueur ammoniacale, et dans tous les cas l'addition d'une nouvelle quantité d'ammoniaque suffirait pour abaisser la température, si par hasard une expérience avait été trop prolongée.

Le corps $5CuS, CuO$ est une combinaison bien définie; car, indépendamment de l'analyse qui en a été faite avec soin, je me suis assuré que 1 gramme de cuivre exige, pour être précipité, la même quantité de sulfure de sodium depuis 60 jusqu'à 80 degrés (1); à 85 et 90 degrés, si l'ébulli-

---

(1) Si l'on exprime par 5 la quantité de sulfure de sodium susceptible de précipiter entre 60 et 80 degrés un certain poids de cuivre, il faudra en employer 6 en opérant à la température ordinaire, ce qui semble indiquer que 5 équivalents de sulfure de cuivre s'unissent à 1 équivalent d'oxyde, soit que l'on fasse agir directement le sulfure de sodium sur une dissolution de cuivre à 75 degrés, soit qu'après avoir précipité à froid le sulfure de cuivre, CuS, on fasse chauffer ce précipité avec un excès de sel de cuivre.

tion n'est pas maintenue très-longtemps, il en faut encore à peu près le même volume; ce n'est qu'autant qu'on prolonge beaucoup la durée de l'ébullition qu'il faut un peu moins de sulfure de sodium pour effectuer la précipitation du cuivre. Toutefois, comme l'oxysulfure $5CuS, CuO$ se forme assez rapidement à 75 degrés, je crois qu'il vaut mieux maintenir la liqueur le plus près possible de ce terme, et je me suis assuré que cela était très-facile. Je propose donc, en définitive, de terminer les analyses à une température très-peu supérieure à 75 degrés. Avec un peu d'habitude, il est facile d'y arriver sans l'emploi du thermomètre.

Les considérations qui précèdent me permettent d'entrer maintenant dans les détails du procédé. J'indiquerai, 1° la préparation du sulfure de sodium; 2° la manière de reconnaître la pureté du cuivre qui sert de type; 3° la manière de titrer la dissolution du sulfure; 4° le mode d'analyse des alliages; 5° celui des sels de cuivre et particulièrement des sulfates; 6° celui des minerais de cuivre. Je terminerai la première partie de ce travail par l'indication d'un moyen de reconnaître dans les composés de cuivre, la présence de quantités extrêmement petites de zinc ou de cadmium. La seconde partie de mon Mémoire est relative à la composition des monnaies de cuivre ou de bronze actuellement en circulation, soit en France, soit dans plusieurs pays étrangers.

En dernier lieu, je donne l'analyse d'un grand nombre de médailles et de monnaies appartenant à des époques plus ou moins éloignées.

Préparation du sulfure de sodium.

Le mode qui me paraît le plus simple et le plus commode consiste à faire passer un courant de gaz hydrogène sulfuré dans une dissolution de soude caustique marquant 36 degrés à l'aréomètre : c'est la lessive des savonniers,

telle qu'on la trouve chez les fabricants de produits chimiques.

Pour obtenir l'hydrogène sulfuré, on peut se servir indistinctement de sulfure d'antimoine et d'acide chlorhydrique concentré, de sulfure de fer et d'acide sulfurique étendu ; mais j'emploie de préférence du sulfate de baryte ou du sulfate de strontiane converti en sulfure par une cémentation dans du charbon (1).

Ce sulfure est introduit en petits fragments de la grosseur d'une noisette dans un flacon tubulé de la capacité de 2 à 3 litres, et traité à la température ordinaire, par de l'acide chlorhydrique du commerce étendu d'environ deux fois son volume d'eau.

Le gaz qui se dégage en abondance est reçu dans la soude caustique où il doit être apporté par un tube d'un large diamètre.

Il est absorbé complétement, quelque rapide que soit le dégagement.

Au bout de quelques heures, on trouve dans le flacon où ce gaz a été absorbé, une abondante cristallisation de sulfure de sodium, dont une partie est légèrement colorée en jaune, tandis que l'autre, beaucoup plus considérable, est parfaitement incolore.

Lorsque le gaz sulfhydrique a cessé de se dégager depuis quelque temps, on décante le liquide qui recouvre les cristaux de sulfure de sodium, et on lave ceux-ci à deux ou trois reprises avec de petites quantités d'eau froide pour les dépouiller de la lessive caustique dont ils sont encore imprégnés. On les laisse encore s'égoutter pendant quelques instants, et l'on s'en sert pour la préparation d'une provision de liqueur normale.

---

(1) Le sulfure de barium et celui de strontium sont vendus par les fabricants de produits chimiques au prix de 20 centimes le kilogramme.

A cet effet on en pèse approximativement 135 à 140 grammes qu'on dissout dans l'eau, de manière à ce que le mélange occupe à peu près 1 litre. Si les analyses de cuivre doivent être nombreuses, il est bon de préparer à la fois plusieurs litres de liqueur. La dissolution d'abord colorée et trouble est abandonnée à elle-même; elle laisse déposer au bout de deux ou trois jours, quelquefois dans un laps de temps beaucoup moins considérable, une petite quantité d'une poudre noire composée presque entièrement de sulfure de plomb (1).

Elle devient parfaitement incolore, et on la sépare facilement du précipité en l'enlevant au moyen d'un siphon. On juge de son degré de concentration par un premier essai avec 1 gramme de cuivre pur. A cet effet, on dissout 1 gramme de ce métal dans 5 ou 6 centimètres cubes d'acide nitrique du commerce, on ajoute à la dissolution 40 à 50 grammes d'ammoniaque, on porte la liqueur à l'ébullition et l'on y verse peu à peu la dissolution de sulfure de sodium mesurée dans la burette. Cette dissolution doit être telle, qu'il en faille, pour précipiter 1 gramme de cuivre, une quantité comprise entre 29 et 31 centimètres cubes. Avec les proportions indiquées ci-dessus, on approche de ces limites, mais ordinairement il faut ajouter un peu d'eau distillée à la liqueur sulfureuse; le premier essai indique, à peu de chose près, ce qu'il en faut mettre, et une analyse précise donne en second lieu le titre exact de la dissolution.

On trouve, dans le commerce, le sulfure de sodium cris-

(1) Il est très-vraisemblable que ce métal provient des chambres et des chaudières de plomb dans lesquelles on fabrique l'acide sulfurique, et qu'il a passé de ce dernier acide dans le sulfate de soude, et par suite dans la soude, où l'oxyde de plomb est très-soluble. Quoi qu'il en soit, je l'ai constamment rencontré dans tous les échantillons de lessive des savonniers où je l'ai recherché. Ce fait, au reste, avait déjà été signalé.

tallisé, au prix de 8 à 10 francs le kilogramme. On peut s'en servir pour les essais de cuivre, en observant, pour obtenir sa dissolution incolore et convenablement concentrée, les précautions indiquées ci-dessus. Toutefois, la préparation de ce sel est si facile, on obtient les cristaux en si grande abondance, que je trouve préférable de le préparer au lieu de l'acheter.

La dissolution de sulfure de sodium préparée comme il a été dit reste pendant des mois entiers parfaitement incolore, même dans des vases où l'on a laissé de l'air. Elle se trouble à peine par les acides. Comme réactif, il me semble impossible d'employer avec plus de succès tout autre sulfure, et je ne doute pas que, dans un grand nombre de cas, on ne le substitue avec avantage au sulfhydrate d'ammoniaque.

Essai du cuivre pur.

On trouve assez facilement, dans le commerce, du cuivre pur obtenu par des moyens galvanoplastiques; dans tous les cas, on peut le préparer soi-même.

Le cuivre raffiné de Suisse, qu'on peut acheter en lames minces, est assez pur pour pouvoir servir à titrer la liqueur de sulfure de sodium.

Le cuivre ne doit être considéré comme pur que quand il a été soumis aux épreuves suivantes :

Il se dissout dans l'acide nitrique sans y laisser la plus légère trace de résidu, et sa dissolution n'est pas troublée par l'ammoniaque. De plus, l'oxysulfure $5CuS, CuO$, fait avec ce métal, et bien lavé, doit être sans action à 75 degrés sur une petite quantité de nitrate de cuivre ammoniacal.

La dissolution de nitrate de cuivre ne doit pas être troublée par l'acide chlorhydrique ni par l'acide sulfurique.

Quand le cuivre présente ces propriétés, on peut le re-

garder comme propre à servir de type de comparaison pour les essais des composés qui contiennent ce métal.

La seule crainte qu'on puisse avoir serait qu'il contînt un peu d'oxygène; voilà pourquoi le cuivre galvanoplastique me paraît préférable.

Dans tous les cas, avant de considérer comme pur du cuivre obtenu par voie de fusion, il est bon de le comparer au cuivre galvanoplastique, et de s'assurer qu'ils exigent, l'un et l'autre, la même quantité de sulfure pour être précipités.

La méthode présente assez d'exactitude pour qu'il soit possible de comparer entre eux des échantillons de cuivre du commerce. Ceux qui laissent dans l'acide nitrique le plus léger résidu, ou dont la dissolution donne un précipité avec l'ammoniaque, exigent constamment moins de sulfure que ceux jugés plus purs à priori, par les moyens indiqués ci-dessus.

Le résidu dans l'acide nitrique est ordinairement de l'étain ou de l'antimoine. Une fois seulement, j'ai observé une trace d'or dans une médaille ancienne de cuivre rouge.

Le précipité obtenu avec l'ammoniaque, et qu'on observe fréquemment dans les cuivres du commerce, dans les monnaies et les médailles, est ordinairement du fer ou du plomb. Au delà de 1 à 2 millièmes, le cuivre ferreux agit d'une manière sensible sur l'aiguille aimantée.

Détermination du titre de la liqueur.

On pèse avec soin 1 gramme de cuivre qu'on introduit dans un matras de la capacité d'environ 2 décilitres; on y verse, à l'aide d'une pipette, 5 à 6 centimètres cubes d'acide nitrique du commerce; le métal se dissout rapidement soit qu'on chauffe immédiatement le mélange, soit qu'on l'abandonne à lui-même à la température ordinaire; on

chasse les vapeurs rutilantes par une légère ébullition, on laisse le matras se refroidir, et l'on y verse 50 centimètres cubes d'ammoniaque du commerce (1) à l'aide d'un flacon rempli par cette quantité de liquide.

Le ballon étant placé sur un support métallique, on porte la liqueur bleue qu'il renferme à une douce ébullition en la chauffant avec une lampe à alcool dont la mèche doit être très-mince et très-courte.

Dès que l'ébullition s'est manifestée, ce qui arrive, en général, vers 50 degrés, on verse goutte à goutte la liqueur sulfureuse dans le matras, en maintenant l'ébullition.

Pendant une grande partie de l'expérience, on reconnaît facilement à la couleur bleue du liquide qui se détache du précipité qu'on peut encore ajouter du sulfure de sodium; lorsque cette teinte a cessé de se montrer, on suspend un moment l'ébullition, on lave les bords du matras avec une pissette remplie d'ammoniaque. Au bout d'une demi-minute tout au plus, le liquide s'éclaircit assez pour laisser voir sa couleur; on le reporte à l'ébullition en y ajoutant, toujours goutte à goutte, une quantité de sulfure d'autant plus grande

---

(1) Il est important de bien s'assurer que l'acide nitrique et l'ammoniaque dont on se sert pour les essais de cuivre sont d'une pureté convenable. On doit en acquérir la preuve en opérant sur les quantités mêmes de ces deux substances qui servent à une analyse de cuivre. On mêle, par exemple, 6 centimètres cubes d'acide avec 50 centimètres cubes d'ammoniaque. Le mélange doit rester *parfaitement incolore*. On y ajoute ensuite quelques gouttes de sulfure de sodium, qui ne doivent ni troubler ni colorer la liqueur.

Le plus souvent l'acide nitrique et l'ammoniaque ordinaires du commerce peuvent servir aux essais de cuivre, mais il n'en est pas moins nécessaire de les examiner avec soin, l'ammoniaque surtout, qui se colore quelquefois avec les sulfures. Quand ce cas se présente, il faut la remplacer par de l'ammoniaque pure.

L'acide nitrique doit être préservé du contact du liége qui le colore en jaune, surtout lorsqu'on vient à le mêler avec de l'ammoniaque.

Quand l'essai d'un alliage de cuivre a été fait avec des réactifs d'une pureté convenable, la liqueur qui surnage le précipité est parfaitement incolore.

qu'on a jugé la teinte plus foncée: à cet égard, on acquiert rapidement l'habitude de juger très-approximativement ce qu'il faut ajouter. Après cette nouvelle ébullition, on lave encore avec la pissette, on attend, comme la première fois, l'éclaircissement, on continue l'addition du sulfure avec d'autant plus de circonspection qu'on approche davantage du terme de la décoloration.

Il faut avoir le soin de terminer l'expérience en ajoutant une goutte ou tout au plus deux gouttes de sulfure à la fois.

La température à la fin de l'expérience ne doit pas être supérieure à 80 degrés. Il est facile de ne pas dépasser ce terme; car, pour l'atteindre, il faut un temps très-long, circonstance due à ce que l'ammoniaque absorbe, en passant à l'état gazeux, une grande quantité de chaleur. En ayant la précaution de prendre, comme je l'ai indiqué, une très-petite mèche, l'ébullition peut durer au delà de 20 minutes sans que la température surpasse les limites indiquées pour une bonne expérience, c'est-à-dire celles de 75 à 80 degrés. La durée de nos expériences est toujours comprise entre 8 et 15 minutes, à compter du moment où la liqueur bleue ammoniacale est entrée en ébullition.

Il est utile, pour juger le mieux possible du terme de la décoloration du sel de cuivre ammoniacal, d'opérer sur une quantité toujours à peu près semblable de liquide; on doit donc s'attacher à verser toujours à peu près la même quantité d'ammoniaque dans les lavages, ce qui est facile, car la pissette ne doit donner qu'un jet très-faible; ordinairement il suffit de 10 à 12 grammes d'ammoniaque pour cela.

De la sorte, il reste dans les matras un volume total de 100 centimètres cubes environ, savoir :

Nitrate de cuivre............	8 centim. cubes.
Ammoniaque..................	50
Sulfure......................	30
Lavage.......................	12

Cette recommandation s'applique également à tous les essais de cuivre, quels qu'ils soient.

Essai d'un alliage.

Deux cas peuvent se présenter dans l'analyse d'un alliage. On connaît le titre approximatif, ou ce titre est inconnu.

Dans le premier cas, on prend une quantité d'alliage contenant environ 1 gramme de cuivre; si c'est une médaille par exemple, son titre étant d'environ $\frac{950}{1000}$, on en prendra 1,050; si c'est le bronze des canons, qui est à un titre très-voisin de $\frac{900}{1000}$, on en pèsera 1,100.

Dans le second cas, un premier essai, fait sur 1 gramme d'alliage, donnera encore le titre approximatif.

Il sera donc toujours facile de procéder à l'analyse avec une quantité d'alliage représentant à peu près 1 gramme de cuivre, circonstance importante pour arriver à la plus grande exactitude possible.

Après avoir titré la liqueur avec le plus grand soin, de la manière qui a été indiquée précédemment, on pèse l'alliage et on l'attaque par l'acide nitrique dans un matras de la capacité de 200 centimètres cubes. Le résidu insoluble, s'il existe, indique la présence de l'étain ou de l'antimoine; quand ce résidu est considérable, il est utile d'introduire dans le ballon quelques gouttes d'acide chlorhydrique, afin de faire rentrer l'étain ou l'antimoine en dissolution, et s'assurer par là que l'alliage est entièrement attaqué. De plus, lorsque cette circonstance se présente, il faut ajouter du plomb à l'alliage.

Cette addition de plomb a pour but de faire précipiter plus vite l'acide stannique qui, en se tenant très-longtemps en suspension, rendrait incertaine la fin de l'analyse.

Au lieu de peser le plomb à l'état métallique et de le dissoudre, il est préférable d'en avoir une dissolution toute faite et dont on connaît le titre. On dissout 10 grammes de plomb dans 30 à 40 centimètres cubes d'acide nitrique du

commerce, et l'on ajoute à cette dissolution une quantité d'eau telle que le mélange occupe 1 décilitre. 1 centimètre cube d'une dissolution ainsi faite représente 1 décigramme de plomb métallique.

Dans des cas très-rares, lorsque l'alliage est très-chargé d'étain, 1 décigramme de plomb pourrait ne pas suffire, ce qu'on reconnaîtrait bien vite dans un premier essai : on augmenterait alors un peu la quantité de nitrate de plomb.

Après avoir ainsi attaqué l'alliage, on attend le refroidissement de la liqueur et l'on y ajoute 50 centimètres cubes d'ammoniaque. On porte le liquide ammoniacal à l'ébullition et l'on y verse, *goutte à goutte*, la liqueur titrée de sulfure de sodium.

Pendant la plus grande partie de l'analyse, on n'a pas besoin d'attendre que la liqueur soit éclaircie, car on distingue facilement la teinte bleue du liquide en ébullition. Mais peu à peu cette teinte devient moins sensible; il faut suspendre l'ébullition, laver avec la pissette, laisser la liqueur se décanter, constater sa coloration et n'y verser le sulfure qu'avec une extrême attention. Avec un peu de pratique, on voit facilement le nombre de gouttes qu'on peut ajouter, par la teinte plus ou moins foncée du liquide.

Quand on juge que la décoloration est complète, lorsque d'ailleurs elle a été amenée en dernier résultat par une ou deux gouttes de sulfure, on lit sur la burette le nombre de centimètres cubes employés (après avoir eu le soin d'attendre quelques instants, afin que la liqueur de sulfure qui est attachée aux parois soit tombée).

Supposons qu'il en ait fallu $29^{cc},5$ et que l'essai de la liqueur ait demandé 30 centimètres cubes pour 1 gramme de cuivre, on dirait alors :

Si 30 centimètres cubes représentent 1,000, combien représentent $29^{cc},5$?

On a ainsi $0^{gr},983$.

La quantité d'alliage soumise à l'expérience contiendrait donc $0^{gr},983$ de cuivre; supposons que cette quantité soit de 1,100, nous dirons :

Si dans 1,100 d'alliage il y a $0^{gr},983$ de cuivre, combien dans 1,000? Or $\frac{983}{1100} = 0,893$.

Un pareil alliage serait donc au titre de $\frac{893}{1000}$.

On comprend combien il est important de ne pas dépasser le terme de la décoloration des liqueurs, puisque la proportion de sulfure employée pour cette décoloration est l'indice de la quantité de cuivre.

Aussi doit-on apporter tous les soins possibles à amener graduellement cette décoloration sans employer un excès de liqueur sulfureuse. Lorsque le cuivre est mêlé à beaucoup d'étain, les liqueurs s'éclaircissent un peu moins bien que lorsqu'il est plus pur; au lieu de quelques secondes, il faut une ou deux minutes pour que le précipité soit recouvert d'une couche de liquide assez considérable et assez limpide pour permettre de juger si la liqueur est encore colorée.

Quelquefois des traces de précipité s'attachent aux parois du matras sans que le jet de la pissette puisse les en détacher entièrement; d'un autre côté, une très-petite quantité de cuivre peut rester en dissolution dans la liqueur sans la colorer, parce qu'il s'y trouve au minimum; cela explique pourquoi la liqueur bleuit quelquefois légèrement, dans sa partie supérieure, quand on l'abandonne au contact de l'air, tandis que les parties inférieures restent décolorées.

Dans tous les cas, le terme de l'expérience est marqué par la décoloration des couches inférieures du liquide que l'œil distingue sans hésitation de la zone supérieure légèrement teintée de bleu.

Au surplus, la quantité de cuivre qui reste dans la liqueur sans la colorer, ainsi que celle du sulfure qui se sulfatise, sont très-minimes, quand l'expérience a été conduite avec les précautions que j'ai indiquées. La légère erreur qui en

résulte est comprise dans les limites indiquées pour le degré d'exactitude du procédé.

La manière de titrer la dissolution de sulfure de sodium et le mode d'analyse des alliages, tel que je viens de le décrire, donnent des résultats très-satisfaisants, et il peut paraître inutile de chercher à modifier une opération d'ailleurs si simple.

Cependant je dirai ici qu'on peut facilement, avec quelque habitude, ne pas employer le thermomètre, et que l'inconvénient d'élever la température au-dessus de 75 degrés n'est pas à craindre quand on a la précaution de maintenir la liqueur toujours fortement ammoniacale. Ce n'est qu'au-dessus de 85 degrés, et surtout de 90 degrés, que la perturbation qui résulte de l'absorption de l'oxyde de cuivre par l'oxysulfure $5CuS, CuO$ devient rapide et considérable.

La faible erreur qui peut résulter de l'application d'une température trop élevée est, en grande partie, compensée lorsque la liqueur de sulfure de sodium a été titrée dans des circonstances analogues à celles de l'analyse d'un alliage.

Mes premières expériences avaient été faites de cette manière, c'est-à-dire sans mesurer la température, et en portant la liqueur à une vive ébullition, tout en y maintenant un excès d'ammoniaque.

Mais il faut le dire, ce procédé présente un côté dangereux qu'il vaut mieux éviter par l'emploi d'ailleurs si facile du thermomètre (1).

Essai des minerais de cuivre.

Dans un grand nombre de cas, les minerais de cuivre peuvent être analysés comme les alliages de ce métal. Au

(1) Dans tous les cas, lorsqu'on se sert du thermomètre, il est inutile et il serait même embarrassant de le tenir constamment dans la dissolution. Il suffit que l'on constate de temps en temps la température, et l'on retire ensuite le thermomètre après l'avoir lavé avec la pissette.

produit de l'action de l'eau régale sur le minerai, on ajoute de l'ammoniaque en excès; sans filtrer la liqueur, on la porte à l'ébullition, et l'on détermine la proportion de cuivre par le volume de sulfure employé directement à sa décoloration; j'ai pu ainsi analyser souvent des minerais dans l'espace de moins d'une demi-heure. Mais il arrive quelquefois que la proportion très-considérable des matières étrangères devient un obstacle à l'emploi immédiat du sulfure : cet inconvénient se montre surtout dans les minerais très-ferrugineux. L'oxyde de fer précipité par l'ammoniaque ne se rassemble qu'avec lenteur, et il est alors préférable de filtrer, de réunir et de concentrer la liqueur et les eaux de lavage, pour doser ensuite le cuivre à la manière ordinaire.

Tantôt alors on opère sur la quantité tout entière de cuivre soumise à une seule expérience, tantôt on trouve plus commode d'opérer sur une grande quantité de minerai, et d'en faire une dissolution dans l'eau régale dont on prend un volume connu, en se conformant, à cet égard, à ce qui a été proposé par M. Gay-Lussac pour les essais alcalimétriques.

Dans tous les cas, il est essentiel de n'opérer jamais avec des dissolutions trop étendues.

Analyse des sels de cuivre, et particulièrement du sulfate.

La teinture et quelques autres arts emploient des quantités très-considérables de divers sels de cuivre, surtout le sulfate (vitriol bleu), et les acétates (verdet, vert-de-gris). Il est important de pouvoir apprécier, avec exactitude et rapidité, le cuivre renfermé dans ces sels, principalement dans le sulfate.

Le vitriol bleu, que les ateliers d'affinage d'or et d'argent livrent au commerce, n'est pas pur, quoiqu'il soit d'une qualité bien supérieure à celui qui provient de la sulfatisation des pyrites cuivreuses. Il contient toujours du sulfate de protoxyde de fer, et quelquefois du sulfate de zinc, substance dont il est très-difficile de le débarrasser.

Le vitriol bleu, fabriqué avec les pyrites, contient une quantité quelquefois considérable de ces deux sels, et en outre du sulfate de magnésie. Dans une expertise, dont j'ai été chargé avec MM. Peligot et Chevallier, nous avons eu occasion d'analyser un vitriol qui contenait à peu près 25 pour 100 de chacun de ces quatre sulfates isomorphes.

Quand le vitriol, comme celui de Salzbourg, ne contient que quelques centièmes de cuivre, et qu'il est principalement formé de sulfate de fer, il faut, après avoir peroxydé ce dernier métal, le précipiter par un excès d'ammoniaque, et doser le cuivre dans les liqueurs filtrées et convenablement rapprochées. Dans ce cas, toutefois, il y a une petite quantité de cuivre qui se précipite avec le sesquioxyde de fer, et qui est perdue pour l'analyse.

Le sulfate de cuivre contenant environ le quart de son poids de cuivre, il faut en faire l'essai sur 4 grammes pour avoir approximativement 1 gramme de métal : on dissout ces quatre grammes dans une petite quantité d'eau, et l'on fait bouillir la dissolution avec quelques gouttes d'acide nitrique, afin de peroxyder le fer, s'il y en a (1). On ajoute alors 50 centimètres cubes d'ammoniaque, et l'on opère comme pour un alliage.

Lorsqu'un premier essai, fait ainsi sur 4 grammes, prend beaucoup moins de sulfure de sodium que la quantité nécessaire pour décolorer 1 gramme de cuivre, il devient utile de faire un second essai, en prenant un poids du même sulfate contenant approximativement 1 gramme de métal.

---

(1) Lorsqu'on n'a pas soin de peroxyder le fer, on emploie une moins grande quantité de sulfure de sodium, à cause de la réduction du cuivre à laquelle le protoxyde de fer donne lieu dans l'ammoniaque. En effet, M. Levol a démontré l'exactitude de la réaction suivante :

$$Fe^2O^2 + Cu^2O^2 = Cu^2O + Fe^2O^3.$$

Le sulfure formé est alors un protosulfure Cu^2S. On pourrait, jusqu'à un certain point, déterminer le fer par la différence de deux expériences faites, l'une en le peroxydant, l'autre en le laissant au minimum.

Application du nouveau mode de dosage à la recherche de quantités extrêmement petites de métaux étrangers et particulièrement de zinc, dans le cuivre.

On a vu que le cuivre était précipité de ses dissolutions par les sulfures avant le plomb, l'antimoine, le zinc, le cadmium, le fer, le bismuth et l'arsenic. On a vu, d'une autre part, que ces sulfures en contact avec du nitrate de cuivre ammoniacal le décoloraient rapidement en produisant du sulfure de cuivre. J'ai profité de cette propriété pour reconnaître dans les cuivres du commerce, dans les alliages et dans les sels, et principalement dans le sulfate, des quantités infiniment petites de zinc.

J'ai dissous dans l'acide nitrique 10 grammes de cuivre et 5 milligrammes de zinc. La liqueur, sursaturée par l'ammoniaque, a été précipitée à la température de son ébullition par un léger excès de sulfure de sodium. Le précipité, formé d'oxysulfure de cuivre, 5CuS, CuO, et de sulfure de zinc, a été séparé de la liqueur qui le surnageait, et chauffé un instant avec de l'ammoniaque et quelques centigrammes de nitrate de cuivre. Le sulfure de zinc est rentré en dissolution dans la liqueur, et celle-ci a été décantée dans un petit matras où l'on a précipité à chaud tout le cuivre par la dissolution de sulfure de sodium. Après la décoloration de la liqueur, il s'est produit, avec le même sulfure alcalin, un précipité parfaitement blanc de sulfure de zinc qu'il a été facile de recueillir sur un filtre. On conçoit que si l'on avait employé trop de sulfure de sodium à la fois, et précipité le zinc en même temps que les derniers milligrammes de cuivre, on conçoit, dis-je, qu'il serait facile, nonobstant cela, de retrouver le zinc sans recommencer l'expérience; il suffirait d'ajouter une très-faible quantité de cuivre ammoniacal dans le matras, de faire rentrer ainsi le zinc en dissolution, de décolorer la liqueur par le

sulfure alcalin, de manière à arriver enfin à obtenir le précipité blanc caractéristique du zinc.

Lorsque la proportion du zinc renfermé dans un alliage de cuivre s'élève à 5 ou 6 millièmes, on reconnaît facilement sa présence par la formation d'un précipité blanc, qui a lieu avec le sulfure de sodium aussitôt que la liqueur est décolorée.

L'oxysulfure de cuivre, 5CuS, CuO, n'agit pas, lorsqu'il est pur, sur une dissolution de cuivre ammoniacale, pourvu que la température du mélange ne dépasse pas 75 degrés; mais si cet oxysulfure est mêlé avec les sulfures de zinc, de cadmium, d'antimoine, de plomb, de bismuth, etc., etc., il agira sur le sel de cuivre pour le décolorer, et l'on conçoit que cette décoloration pourra servir d'indice utile sur la présence d'un métal étranger mêlé au cuivre qu'il s'agira d'examiner.

En résumé, je considère comme un des caractères les meilleurs de la pureté du cuivre, la propriété que présente son oxysulfure, 5CuS, CuO, de ne pas agir sur le nitrate de cuivre ammoniacal.

Bien entendu que, quand on voudra appliquer cette propriété à reconnaître si le cuivre est impur, il ne faudra jamais oublier de former l'oxysulfure en présence d'un léger excès de sulfure alcalin, puisque les métaux autres que le cuivre sont précipités en dernier lieu.

La présence du zinc est, dit-on, nuisible à la qualité du bronze : elle détermine l'apparition de nombreuses alvéoles dans l'âme des canons. Quoi qu'il en soit de ces craintes, que ne partagent pas tous les officiers d'artillerie, il sera désormais facile de constater, dans l'alliage des bouches à feu, des quantités de zinc infiniment petites, moindres, par exemple, d'un demi-millième de leur poids. Il n'y aura d'autres modifications à apporter au procédé indiqué ci-dessous que celle qui consiste à séparer, par

le filtre, l'acide stannique de la dissolution nitrique du cuivre.

Indépendamment des applications dont je viens de parler, on conçoit qu'il serait facile d'en trouver d'autres, en substituant à l'ammoniaque la potasse, la soude, qui dissolvent un bien plus grand nombre d'oxydes que l'ammoniaque. M. Florès Domonte, dans son travail sur le dosage du plomb, a constaté que des divers métaux qui l'accompagnent dans ses alliages, et dont j'ai cité les noms, le cuivre se précipitait le premier, ou tout au moins se sulfurait avant les autres dans le sein d'une lessive alcaline.

Dès lors on conçoit qu'après la précipitation du cuivre avec le sulfure de sodium, ces divers métaux doivent rester dans la liqueur même qui surnage le précipité, et qu'il doit être facile de les y retrouver.

Composition des monnaies de cuivre et de bronze.

Dans le but de connaître approximativement les proportions des sous des divers types qui existent actuellement en circulation, on a examiné au hasard 4300 pièces de 10 centimes, et 11400 pièces de 5 centimes.

L'ensemble de ces pièces représentait une valeur de 1000 fr., dont 430 francs pour les pièces de 10 centimes, et 570 pour celles de 5 centimes.

L'examen de ces sous a conduit à la répartition suivante :

Pièces de 10 *centimes.*

10 belges.
40 République française (tête de Liberté), un peu blanches....... (A)
1880 République française (tête de Liberté), rouges................. (B)
230 Louis XVI (sous de cloches), d'un blanc rouge................ (C)
50 Louis XVI (sous de cloches), blanc-jaune.................... (D)
140 Louis XVI (sous de cloches), fausses blanches-grises.......... (E)
1950 Louis XVI (sous de cloches), blanches........................ (F)

Pièces de 5 centimes.

90 belges.
10 anglaises.
30 russes et suédoises.
3570 République française (tête de Liberté), rouges.................. (L)
100 République française (tête de Liberté), blanches................ (K)
30 Louis XVI (sous de cloches), fausses blanches................ (G)
60 Louis XVI (sous de cloches), blanches-rouges................. (H)
2010 Louis XVI (sous de cloches), blanches....................... (I)
5500 Louis XVI et Louis XV, rouges........................... (J)

J'ai déterminé, pour chacune de ces diverses espèces de sous, la proportion de cuivre qui y était renfermée. Mes analyses m'ont donné, en moyenne, les résultats suivants :

	Titre.	Poids.
Belges	995	19,56
(A)	900	20,00
(B)	941	22,16
(C)	934	23,35
(D)	756	23,00
(E)	780	25,00
(F)	870	20,50
Belges	985	9,94
Anglaises	993	9,41
Russes et suédoises	987	12,5
(G)	793	13,0
(H)	915	13,0
(I)	875	10,2
(J)	998	9,8
(K)	925	10,2
(L)	940	10,0

Il résulterait, des données précédentes, que 1 000 francs de sous (simples et doubles) pèsent 206^{k},370, dans lequel le cuivre pour 191^{k},824. C'est ce qu'en effet on peut voir par le tableau suivant :

Nombre de pièces.	Poids d'une pièce.	Poids de l'alliage.	Titre de l'alliage.	Poids du cuivre pur.
		k		k
10	19,5	0,195	995	0,194
40	20,0	0,800	900	0,720
1880	22,2	41,736	941	39,274
230	23,3	5,359	934	5,000
50	23,0	1,150	756	0,869
140	25,0	3,500	780	2,730
1950	20,5	39,975	870	34,780
90	9,94	0,894	985	0,881
10	9,41	0,094	993	0,093
30	12,5	0,375	987	0,370
5500	9,8	53,900	998	53,792
3570	10,0	35,700	940	33,558
100	10,2	1,020	925	0,944
30	13,0	0,390	793	0,309
60	13,0	0,780	915	0,714
2010	10,2	20,502	875	17,939
15700 donnent.......		206,370 d'alliage contenant		192,167 de cuivre pur.

S'il est permis d'évaluer, d'après le tableau (A), la masse de la monnaie de cuivre en circulation à une somme équivalente à 30 000 000 de francs, cette énorme masse monétaire pèserait 6 191 100 kilogrammes, dans lequel le poids du cuivre entrerait pour 5 765 010 kilogrammes.

(A) *Monnaies de cuivre fabriquées depuis* 1719 *jusqu'en* 1800.

Sous royaux, édit de mai 1719 et d'août 1738................	5 244 000
Sous cuivre cloches, loi du 6 août 1791.................. ..	14 232 000
Sous tête de Liberté, lois du 19 brumaire an V et du 19 pluviôse an VI...	19 691 000
Total..................	39 167 000
Sur quoi il faut déduire:	
1°. 3 millions envoyés aux îles Ioniennes.	
2°. 12 millions environ que les 57 départements séparés de la France ont dû conserver...............................	15 000 000
Resterait en nombre rond................................	24 000 000
Mais il convient d'ajouter à cette somme celle de........... pour fabrications illégales et étrangères.	6 000 000
On peut donc évaluer la masse de la monnaie de cuivre actuellement en circulation à................................	30 000 000

En supposant ces monnaies fondues et le titre déterminé, l'alliage obtenu serait au titre de $\frac{981}{1000}$.

Il m'a paru important, dans le cas où la refonte des sous aurait lieu, de donner autant que possible une bonne moyenne de la composition des sous appartenant aux différents types.

Ces types sont au nombre de trois :

1°. Les sous rouges de Louis XV et de Louis XVI;

2°. Les sous de cloches (simples et doubles);

3°. Les sous de cloches affinées (tête de Liberté), simples et doubles.

1°. *Sous de Louis XV et de Louis XVI.*

Millésimes.	Titres.	Millésimes.	Titres.	
1766	976	1786	994	La moyenne de ces diverses analyses donne pour le titre $\frac{993}{1000}$ de cuivre pur.
1774	993	1789	998	
1778	990	1790	996	
1782	998	1791	993	
1784	994	1791	996	
1785	996			

2°. *Sous de cloches* (simples et doubles).

Millésimes.	Titres.	Millésimes.	Titres.	
1791	886	1792	856	La moyenne de toutes ces analyses donne pour le titre $\frac{862}{1000}$ de cuivre pur.
1791	713	1792	869	
1791	805	1792	895	
1791	896	1792	872	
1791	880	1792	878	
1792	839	1792	884	
1792	893	1792	903	
1792	934	1792	910	
1792	790	1793	869	
1792	766	1793	841	
1792	850	1793	850	
1792	891	1793	857	
1792	928	1793	815	
1792	869	1793	723	
1792	869	1793	793	
1792	897	1793	882	
1792	965	1793	860	
1792	941			

On a fondu une grande quantité de pièces de ce type, et l'on a obtenu un culot dont le titre était 860, nombre très-voisin du titre donné par la moyenne des analyses faites sur des pièces isolées.

Les sous de cloches présentent une grande irrégularité dans leur titre; aussi leur composition moyenne n'a-t-elle pu être déterminée qu'en opérant sur de grandes quantités de ces monnaies; mais, indépendamment de ces différences considérables dans les proportions du cuivre, il y a une autre circonstance à noter, c'est que ces sous contiennent généralement beaucoup plus de zinc qu'on ne le croyait. La quantité de ce métal m'a paru être, en moyenne, de 5 à 6 pour 100. On y trouve aussi de petites quantités de plomb, d'antimoine et de fer.

Je n'ai pas déterminé la proportion d'étain renfermée dans les sous de cloches; il est inutile de dire que ce métal en fait constamment partie.

3°. *Sous de la République* (cloches affinées, tête de Liberté), *simples et doubles.*

Ces sous sont rouges, assez bien conservés; on a obtenu, à leur analyse :

An VIII.	962	An VIII.	948	La moyenne de ces diverses analyses donne pour le titre $\frac{955}{1000}$ de cuivre pur.
An VII.	938	An VIII.	959	
An V.	952	An VIII.	965	
An VII.	937	An V.	940	
An V.	940	An V.	939	
An VIII.	954	An VII.	958	
An V.	957	An VIII.	970	
An VII.	980	An V.	937	
An VII.	973	An VII.	954	
An VIII.	965	An VIII.	964	
An VIII.	954	An VIII.	960	
An VIII.	958	An VII.	947	

Un grand nombre de pièces de ce type ont été fondues, et le culot provenant de cette fonte a été analysé; on y a trouvé $\frac{965}{1000}$ de cuivre. Le titre de ces pièces est donc très-près de celui de $\frac{960}{1000}$, qu'il devrait être légalement.

On peut voir que ces monnaies ne présentent pas, à beaucoup près, des irrégularités aussi grandes que les sous de cloches.

Il n'est pas rare de trouver une petite quantité de plomb dans les sous à tête de Liberté.

Outre les pièces de monnaies de cuivre en circulation, j'ai analysé quelques autres pièces assez anciennes, qui m'ont donné les résultats suivants :

1609...................... $\frac{1000}{1000}$;
1636 (double tournois)...... $\frac{978}{1000}$;
1642 (double tournois)...... $\frac{998}{1000}$;
1645 (liard)............... $\frac{898}{1000}$ (étain);
1649 (denier tournois)...... $\frac{965}{1000}$ (1);
1657 (liard)............... $\frac{894}{1000}$ (2).

Monnaies d'Angleterre.

Règnes.	Millésimes.	Poids.	Titres.	Métaux étrangers.
Georges IV........	1823	16,79	993	étain, plomb.
Guillaume IV......	1831	18,75	993	étain.
Georges III........	1797	26,9	997	étain.
Victoria...........	1838	9,41	1000	"
Guillaume IV......	1837	4,71	997	étain.
Georges III........	1806	8,85	983	plomb.
Georges IV........	1827	9,20	998	étain.
Victoria...........	1841	18,96	999	"
Victoria...........	1841	9,37	1000	"
Georges III........	1806	8,57	996	étain.

Monnaies de Prusse.

Millésimes.	Poids.	Titre du cuivre.
1790	7,48	983
1807	14,65	994
1800	4,85	991
1808	5,95	991
1841	1,48	980
1841	5,95	983

---

(1) Étain et zinc; bien conservé, ressemble pour la couleur et la dureté aux médailles actuelles, dont elle présente d'ailleurs à peu près la composition.

(2) Pas d'étain, beaucoup de zinc. Jaune-rougeâtre comme le laiton, dont cette pièce a la composition.

Monnaies de Suède.

Millésimes.	Poids.	Titre du cuivre.
1747	13,15	986
1761	14,05	974
1733	13,91	997
1839	7,82	996
1809	?	982

Monnaies de Russie.

Sous russes de 1811 et 1812, moyenne de douze analyses : $\frac{990}{1000}$.

Monnaies de Belgique.

Millésimes.	Poids.	Titre du cuivre.
1837	9,95	996
1837	9,94	967
1833	19,56	993
1793	7,10	970

Monnaies de Portugal.

Millésimes.	Poids.	Titre du cuivre.
1741	11,55	983
1743	5,77	998
1827	?	834 (zinc, étain, fer).

	Millésimes.	Poids.	Titre du cuivre.
Danemark	1771	11,0	990
	1771	10,6	992
Sardaigne	1826	9,67	992
Westphalie	1810	2,47	998
Principauté de Monaco	1838	?	993
Compagnie des Indes	1827	11,73	1000

En résumé, les monnaies basses de l'Angleterre, de la Prusse, de la Russie, de la Suède, du Danemark, de la Belgique, de la Sardaigne, de la Westphalie, de la principauté de Monaco, ont toutes été fabriquées avec du cuivre du commerce, sans alliage avec aucun autre métal.

Ce n'est qu'exceptionnellement que le cuivre a été allié avec l'étain et le zinc.

Médailles dites *monnerons.*

On trouve dans la circulation, et principalement dans les collections monétaires, des médailles connues sous le nom de *monnerons*. Ces médailles sont très-remarquables par la beauté et l'éclat de leur couleur, la délicatesse de leurs empreintes et leur parfaite conservation.

J'en ai analysé quelques-unes; elles contiennent toutes de 970 à 980 millièmes de cuivre, et des proportions à peu près égales de zinc et d'étain.

Les monnerons ou médailles de confiance, frappées à la fin du règne de Louis XVI, étaient destinées à être échangées contre des assignats. Leur dureté, bien plus grande que celle du cuivre, et qui n'exclut pas cependant beaucoup de ductilité, mérite d'être signalée.

L'alliage des frères Monneron me semble être, relativement aux monnaies, ce que l'alliage si connu et si beau des frères Keller est relativement au bronze statuaire.

Lorsque le temps sera venu de mettre à l'étude la question de la refonte des sous, et de la fabrication d'une nouvelle monnaie destinée à les remplacer, il sera bien important d'examiner si la meilleure composition à leur assigner ne serait pas précisément celle que présentent les monnerons, composition qui ne s'éloigne pas beaucoup de celle des médailles actuelles et des sous rouges de la République. Pour mon compte, je serais bien porté à croire qu'on trouverait dans de pareils alliages les deux qualités principales qu'on leur désire, la dureté qui les préserve de la déformation, et une certaine malléabilité qui leur permette de recevoir facilement les empreintes.

Le cuivre pur, bien qu'il serve seul à la fabrication des monnaies basses dans beaucoup de pays, semble être trop mou, et, d'un autre côté, l'alliage des cloches est beaucoup trop dur et trop cassant pour qu'on ne doive pas chercher une limite entre ces deux extrêmes.

Indépendamment de ces considérations, il en existe une autre très-puissante pour tenter la fabrication d'un alliage monétaire dans lequel il resterait encore 2 à 4 centièmes d'étain et de zinc; c'est qu'il résulte de la composition moyenne de nos monnaies qu'en les affinant très-légèrement, ou en les fondant avec 2 ou 3 centièmes de cuivre, on obtiendrait directement et économiquement un alliage plus ou moins semblable à celui des monnerons, et présentant,

comme je m'en suis assuré par l'expérience, toutes leurs propriétés physiques.

Les deniers tournois au millésime de 1649, que j'ai eu l'occasion d'examiner, ont la même composition que les monnerons, et ils sont, comme eux, bien conservés et d'une empreinte remarquable.

Il y a plus : des monnaies romaines, trouvées dans des fouilles faites à Vienne en Dauphiné, qui m'avaient donné la même composition que les monnerons et les deniers tournois de Louis XIV, présentaient dans leurs parties centrales non oxydées un alliage en tout point semblable aux précédents.

Je pense donc, en me résumant, que l'alliage qui conviendrait le mieux, sous tous les rapports, à la fabrication d'une nouvelle monnaie, devrait présenter dans sa composition de 96 à 98 pour 100 de cuivre (1).

Monnaies et médailles anciennes.

J'ai déterminé les quantités de cuivre contenues dans un nombre très-considérable de médailles et de monnaies romaines, principalement parmi celles qui appartiennent aux empereurs romains; elles peuvent être divisées en trois classes :

La première classe, assez nombreuse, renferme les monnaies et les médailles en cuivre rouge.

Les numismates s'accordent à dire que les anciens peuples n'ont jamais employé le cuivre pur à la fabrication de leurs

(1) Une Commission dont M. Dumas faisait partie, et qui avait été chargée, sous la présidence de M. Thenard, de préparer la réorganisation des ateliers monétaires et la refonte des monnaies, avait depuis longtemps adopté l'alliage de 96 de cuivre et de 4 d'étain, pour la fabrication des nouveaux sous, en cas de refonte. M. Dumas en a fait, avec raison, la remarque, après la lecture de mon Mémoire devant l'Académie, dans la séance du 22 juin dernier. (*Voyez* le n° 25 des *Comptes rendus.*)

Toutefois, l'alliage sur lequel je propose qu'il soit fait des expériences est un peu différent de celui de la Commission. Il devrait être formé, en moyenne, de 97 de cuivre, 1 ½ d'étain et 1 ½ de *zinc*, avec une tolérance de 1 centième de cuivre en plus ou en moins de la proportion ci-dessus indiquée.

monnaies. Voici comment s'exprime Mongez dans un Mémoire sur l'art du monnayage chez les anciens et chez les modernes :

« Il ne nous est parvenu, à ma connaissance, aucune
» monnaie antique de cuivre pur ; il est probable que si les
» anciens avaient frappé des monnaies de cuivre pur, l'oxy-
» dation les aurait détruites ; mais nous en possédons un
» nombre infini de bronze, c'est-à-dire de cuivre allié d'é-
» tain dans toutes sortes de proportions, surtout de 4 à
» 11 pour 100.

» Un hasard, ou plutôt la sécheresse de quelque ruine,
» aurait pu néanmoins en conserver quelques-unes, et ce-
» pendant on a toujours trouvé de l'étain dans le grand
» nombre de médailles qu'on a essayées jusqu'ici. Si les
» anciens avaient employé le cuivre sans alliage, on peut
» assurer qu'il ne nous serait parvenu que des médailles d'or
» et d'argent, tandis que, dans la multitude des médailles
» antiques de bronze que nous possédons, il en est qui ont
» plus de deux mille ans. Or, comme la nature présente
» très-rarement le cuivre et l'étain alliés dans les mines, il
» faut croire que les anciens ont fait cet alliage, et qu'ils
» ont voulu assurer ainsi à leurs monnaies, même à leurs
» monnaies usuelles, une durée presque éternelle. Nous-
» mêmes, Français, n'avons fabriqué des monnaies de
» cuivre pur qu'en 1575, sous Henri III. »

Cette assertion est erronée, car non-seulement j'ai trouvé plusieurs fois des médailles romaines formées de cuivre allié à quelques millièmes seulement de métaux étrangers, mais j'ai analysé plusieurs pièces de monnaies en cuivre tellement pur, que les réactifs n'y décelaient pas la plus petite trace d'un métal étranger (1). Je n'oserais pas dire toutefois que les Romains connussent les moyens d'extraire le cuivre de

---

(1) Je ne puis avoir aucun doute sur l'authenticité de ces monnaies qui ont été trouvées dans l'aqueduc de Vienne, et qui m'ont été remises par M. Chabert qui assistait aux fouilles.

ses minerais, et de l'amener à un état de pureté parfaite, car il existe dans la nature, comme tout le monde le sait, une assez grande quantité de cuivre natif. J'ai en ma possession un échantillon de ce métal, aussi pur que le cuivre galvanoplastique le plus beau.

Quoi qu'il en soit, il ne peut plus dorénavant être douteux que le cuivre n'ait servi autrefois, comme il sert encore aujourd'hui dans beaucoup de pays, à la fabrication des monnaies, sans addition d'aucun autre métal.

La seconde classe de monnaies et médailles anciennes est de bronze, c'est-à-dire un alliage de cuivre et d'étain renfermant ordinairement un dixième environ de ce dernier métal. La proportion minimum d'étain a été de 4 pour 100, et celle maximum de 20 pour 100.

Celles qui renferment une grande quantité d'étain sont beaucoup mieux conservées que les autres, et ressemblent tout à fait à nos sous de cloches. Quelques-unes de ces monnaies de bronze anciennes existent, même dans la circulation.

Enfin, la troisième classe des monnaies anciennes comprend celles qui ont une composition analogue à celle du laiton; il n'est pas rare d'y rencontrer une légère quantité d'étain, et souvent aussi un peu de fer : quelques-unes renferment des traces de plomb. Enfin, j'ai trouvé une de ces médailles qui contenait une quantité notable de cadmium. La proportion de zinc s'élève le plus ordinairement à 15 ou 16 pour 100.

RECHERCHES

Sur la solubilité de l'alumine dans l'eau ammoniacale;

PAR MM. J. MALAGUTI ET J. DUROCHER.

Les chimistes savent que l'alumine n'est pas précipitée entièrement de ses dissolutions par l'ammoniaque, mais ils

savent aussi que sa précipitation est complète en présence du chlorure d'ammonium. Aussi est-ce un usage reçu dans les laboratoires, d'aciduler les dissolutions aluminiques avant de les précipiter.

Mais il faut dire aussi qu'on se préoccupe très-peu de la quantité de sel ammoniac nécessaire pour que la précipitation de l'alumine soit complète; et, à plus forte raison, ne se demande-t-on pas si le volume de la dissolution et si le temps écoulé entre la précipitation et la filtration peuvent exercer quelque influence susceptible d'affecter le résultat analytique.

Comment, en effet, pourrait-on s'en préoccuper, lorsque les Traités d'analyse les plus intimes ne disent pas un seul mot qui puisse faire soupçonner l'existence de causes d'erreur?

Voici comment s'exprime M. H. Rose, à la page 36 du second volume de son *Traité pratique d'Analyse chimique*, édition française de 1843 :

« L'alumine est *complétement* précipitée de ses dissolu-
» tions par l'ammoniaque et le carbonate d'ammoniaque....
» Des deux réactifs qui viennent d'être indiqués, le car-
» bonate ammoniacal est le meilleur pour opérer la préci-
» pitation de l'alumine.

» Quant à l'ammoniaque pure, elle précipite aussi fort
» bien l'alumine; mais il faut éviter d'en mettre un très-
» grand excès dans la liqueur, parce qu'il pourrait résulter
» de là que les traces d'alumine se dissolvissent; car, si l'on
» sépare ensuite le précipité par la filtration, et que l'on
» chauffe la liqueur filtrée jusqu'à ce que l'ammoniaque se
» soit volatilisée, il se sépare parfois des flocons *insigni-*
» *fiants,* et souvent presque *impondérables,* d'alumine. »

Le docteur Remigius Fresenius, dans son *Précis d'Analyse chimique qualitative,* édition française de 1845, n'est pas, il faut le dire, aussi rassurant que M. H. Rose.

Voici les paroles textuelles de l'auteur, page 94 :

« L'ammoniaque produit de même (dans les dissolutions
» aluminiques) un précipité d'hydrate aluminique, rete-
» nant de l'ammoniaque et un sel basique. Il peut être
» aussi redissous par un grand excès de précipitant, lors-
» que la solution ne contient point de sels ammoniques;
» mais cette solution, qui ne s'opère jamais facilement,
» devient d'autant plus difficile que la liqueur contient plus
» de sels ammoniacaux. »

Ainsi, le docteur Fresenius admet la possibilité de la redissolution de l'alumine, mais en même temps il la regarde comme étant très-difficile en présence de sels ammoniacaux. Par conséquent, l'usage d'aciduler les dissolutions aluminiques avant de les précipiter par l'ammoniaque paraît offrir des garanties suffisantes pour obtenir un résultat exact.

Si quelques chimistes, éclairés par une expérience personnelle, ne se contentent pas d'aciduler simplement les dissolutions aluminiques avant de les précipiter, et s'ils évitent l'emploi de l'ammoniaque comme précipitant, toutes les fois que les circonstances le leur permettent, nous ne savons pas qu'ils aient démontré la nécessité de ces précautions et de ces préférences, et nous ne croyons pas que l'on ait jamais publié des expériences directes pour prouver :

1°. Que si l'on emploie l'ammoniaque pour précipiter l'alumine en l'absence de sels ammoniacaux, il peut en rester une proportion *très-considérable* dans la dissolution;

2°. Que la quantité des sels ammoniacaux nécessaires pour donner lieu à une précipitation complète de l'alumine doit être d'autant plus forte, que le *volume de la dissolution* et celui de l'ammoniaque sont plus grands;

3°. Que même, en l'absence de sels ammoniacaux, l'alumine peut être *précipitée entièrement* de ses dissolutions, quels qu'en soient le volume et la quantité d'ammoniaque qu'elles renferment, mais à la condition de laisser s'écouler un temps suffisant entre le moment de la précipitation et

celui de la filtration ; bien entendu que le liquide se trouve à l'abri du contact de l'air ;

4°. Que le réactif le plus approprié pour obtenir une précipitation complète de l'alumine, sans avoir à se préoccuper du volume de la dissolution, de l'absence des sels ammoniacaux et du temps écoulé, est le *sulfure d'ammonium*.

Tels sont les faits que nous espérons démontrer par les expériences suivantes.

Il n'y a rien de plus facile que de constater la grande solubilité de l'alumine dans l'eau ammoniacale, et la faculté précipitante très-prononcée du sulfure d'ammonium.

Que l'on fasse deux dissolutions, l'une de 2 grammes d'alun ammoniacal dans 50 grammes d'eau, et l'autre de 2 grammes de ce même sel dans 200 grammes d'eau; que l'on verse le même volume d'ammoniaque liquide dans les deux dissolutions (15 centimètres cubes par exemple). On verra que le précipité produit dans la dissolution, dont le volume total est de 65 centimètres cubes, est incomparablement plus considérable que celui produit dans la dissolution dont le volume est de 215. Il suffira de filtrer la dissolution la plus volumineuse, de la partager en deux portions égales, dont une sera exposée à l'ébullition, et l'autre à un courant d'hydrogène sulfuré, pour voir, dans les deux cas, se former un précipité considérable d'alumine.

Si au lieu de faire arriver un courant d'hydrogène sulfuré dans la dissolution alumino-ammoniacale, on fait arriver un courant d'acide carbonique, on verra aussi se former un fort précipité d'alumine; mais tandis que, dans le premier cas, le précipité représente toute l'alumine qui était dissoute, dans le second cas, le précipité n'en représente que la plus grande partie. En effet, si l'on sépare par filtration le précipité aluminique produit par un courant d'hydrogène sulfuré, et qu'on soumette à une ébullition prolongée la liqueur filtrée, on ne verra point paraître la moindre trace d'alumine; mais il en sera tout autrement

si l'on traite de la même manière la liqueur qui a été soumise à un courant d'acide carbonique : dans ce cas, après que tout le carbonate d'ammoniaque se sera volatilisé par ébullition, on verra paraître une quantité sensible d'alumine floconneuse. Il en sera de même si l'on traite de la liqueur alumino-ammoniacale par du sel ammoniac.

Lorsque dans 250 centimètres cubes de liqueur alumino-ammoniacale (provenant de la précipitation de 2 grammes d'alun ammoniacal, par 15 centimètres cubes d'ammoniaque liquide) on verse 10 grammes de sel ammoniac en poudre, on voit se former un dépôt d'alumine très-considérable : que l'on sépare par filtration cette alumine, et que l'on verse encore 10 grammes de sel ammoniac dans la liqueur filtrée, il n'y aura point de nouvelle apparition d'alumine ; mais si l'on ajoute encore 10 grammes de sel ammoniac, on verra se former un nouveau dépôt d'alumine, léger à la vérité, mais très-sensible.

Ainsi, les dernières portions d'alumine, pour se précipiter immédiatement, exigent une quantité beaucoup plus grande de sel ammoniac que les premières, et l'on voit que la somme totale du sel ammoniac nécessaire pour précipiter la totalité de l'alumine dépasse peut-être ce que les chimistes pouvaient supposer.

Mais, du reste, cette inaptitude de l'acide carbonique et du sel ammoniac à précipiter toute l'alumine cesse, si au lieu de filtrer le précipité immédiatement, on le laisse en repos pendant quelques jours en vase clos ; dans ce cas, toute l'alumine se précipite entièrement.

Ces quelques expériences, tout à fait empiriques, suffisent pour démontrer que la quantité d'alumine que l'eau ammoniacale peut tenir en dissolution est considérable ; que le volume de la dissolution joue un rôle important ; que le carbonate ammoniacal et le sel ammoniac ne précipitent pas immédiatement toute l'alumine ; que le temps écoulé entre la précipitation et la filtration exerce une grande in-

fluence sur la perte de l'alumine; enfin, que le sulfure d'ammonium (hydrosulfate d'ammoniaque ordinaire des laboratoires) est le réactif par excellence pour précipiter immédiatement toute l'alumine, quel que soit le volume de la dissolution.

Mais passons aux expériences méthodiques, qui doivent démontrer d'une manière rigoureuse les propositions ci-dessus énoncées.

Pour abréger de longues descriptions, nous avons réuni par tableaux les différentes séries d'expériences; ces expériences ont toutes été faites avec de l'alun ammoniacal, et cela pour éviter les doutes que la formation possible de sous-sulfates insolubles et fixes aurait pu faire naître.

Tableau n° I. — *Influence dissolvante de l'ammoniaque et de l'eau.*

	A.			B.			C.			D.		
Dissolution d'alun ammoniacal dont chaque centimètre cube renferme 0^{gr},004 d'alumine (1)	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}
Eau distillée	55	50	40	115	110	100	215	210	200	415	410	400
Ammoniaque liquide	5	10	20	5	10	20	5	10	10	5	10	20
Volume total	110	110	110	170	170	170	270	270	270	470	470	470
Temps écoulé entre la précipitation et la filtration	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}
Alumine précipitée	0^{gr},196	0^{gr},190	0^{gr},185	0^{gr},192	0^{gr},178	0^{gr},189	0^{gr},192	0^{gr},182	0^{gr},179	0^{gr},172	0^{gr},143	0^{gr},059

(1) La température à laquelle la dissolution a été titrée n'a varié que de 2 à 3 degrés en plus ou en moins, pendant toutes les expériences.

Deux faits ressortent évidemment de ce tableau : le premier, c'est que le volume de la masse liquide restant constant, l'alumine redissoute augmente avec la quantité d'ammoniaque.

En effet, au lieu d'obtenir dans tous les cas les 200 milligrammes d'alumine que renferme la liqueur, on a toujours éprouvé une perte, qui augmente en raison de la quantité d'ammoniaque employée.

Ce fait est répété dans chaque série à une exception près, et il ne présente rien d'extraordinaire, car on connaissait déjà le pouvoir dissolvant de l'ammoniaque. Ce qui pourrait étonner, c'est la quantité de l'alumine redissoute. Dans la série A, on voit que 20 centimètres cubes d'ammoniaque liquide ont retenu en dissolution le treizième environ de l'alumine, et dans la série D, cette même quantité d'ammoniaque en a retenu en dissolution $\frac{7}{10}$, ce qui est exorbitant.

Le second fait qui ressort de ce tableau est l'influence, jusqu'à présent non soupçonnée, du volume d'eau.

Si l'on compare les effets produits par les quantités identiques d'ammoniaque de chaque série, on trouve que les pertes en alumine croissent avec les volumes de la masse.

Ainsi, on remarquera que 5 centimètres cubes d'ammoniaque ont empêché, dans une masse de 110 centimètres cubes, la précipitation de 2 centièmes d'alumine, tandis que la même quantité d'ammoniaque en a empêché la précipitation de 14 centièmes, lorsque le volume du liquide a été porté à 470 centimètres cubes.

Il nous semble que la quantité d'alumine qui reste en dissolution par l'influence de l'eau dépasse tout ce que l'on pouvait imaginer. Cette influence de l'eau se fera sentir malgré la présence des sels ammoniacaux, ainsi que nous le démontrerons plus tard.

Mais, avant de passer outre, expliquons pourquoi il n'y a pas de constance dans les proportions entre les quantités d'alumine précipitée et les volumes d'ammoniaque et d'eau ;

il est clair qu'il est impossible de tracer une courbe représentant la solubilité de l'alumine dans l'eau ammoniacale, car le temps écoulé entre la précipitation et la filtration de l'alumine exerce une influence très-marquée et irrégulière sur les quantités d'alumine rendues libres, ainsi que le montre le tableau suivant :

Tableau n° II. — *Influence du temps écoulé entre la précipitation et la filtration de l'alumine.*

	A.			B.			C.		
Dissolution d'alun ammoniacal dont chaque centim. cube renferme 0gr,004 d'alumine.	50c	50cc	50cc	50cc	50cc	50cc	50cc	50cc	50cc
Eau distillée	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Ammoniaque liquide	5	5	5	10	10	10	20	20	20
Temps écoulé entre la précipit. et la filtrat.	10m	20h	120h	10m	20h	120h	10m	20h	120h
Alumine précipitée	0gr,161	0gr,197	0gr,200	0gr,104	0gr,192	0gr,200	0gr,069	0gr,177	0gr,200

Ces trois séries d'expériences démontrent que l'influence du temps écoulé entre la précipitation et la filtration peut aller jusqu'à déterminer la séparation complète de l'alumine, malgré l'absence des sels ammoniacaux, résultat en dehors de toute prévision.

Maintenant, pour prouver que cette influence est irrégulière, nous avons fait l'expérience suivante :

Nous avons versé 50 centimètres cubes de dissolution normale d'alun ammoniacal dans 400 centimètres cubes d'eau distillée, nous avons ajouté 20 centimètres cubes d'ammoniaque, puis nous avons filtré. La liqueur très-limpide a été partagée en six flacons, que l'on a bouchés hermétiquement et abandonnés à eux-mêmes. Un mois après, nous avons examiné ces flacons, et nous avons trouvé que cinq avaient leurs parois intérieures tapissées, dans toute la partie mouillée, d'un enduit grenu très-tenace, difficilement soluble dans les acides, formé d'alumine fortement agrégée ; le liquide du sixième flacon n'avait rien laissé précipiter. Nous sommes passés ensuite à l'examen des liquides qui avaient laissé précipiter spontanément l'alumine, pour voir si la précipitation était complète : trois liquides sur cinq, soumis à l'ébullition, n'ont pas mis en liberté la moindre trace d'alumine ; le quatrième en a mis en liberté une quantité très-appréciable, et le cinquième quelques flocons seulement.

Ainsi, il est prouvé qu'une dissolution alumino-ammoniacale abandonnée à elle-même, à l'abri de l'air, peut dans un laps de temps donné, même assez long, tantôt abandonner la totalité de l'alumine qu'elle contient, tantôt une portion seulement, tantôt pas une seule trace ; et même, si l'on voulait admettre que, dans un laps de temps plus ou moins considérable, l'alumine dissoute par l'eau ammoniacale doit devenir libre en totalité, toujours est-il que cette mise en liberté sera très-irrégulière, et jamais proportionnelle au temps écoulé.

Ces expériences nous paraissent donc expliquer pour-

quoi il est impossible de déterminer une courbe de la solubilité de l'alumine. Nous venons de voir que, même en l'absence de sels ammoniacaux, l'alumine peut être précipitée complétement par l'ammoniaque ; mais ce cas ne se réalise que dans des conditions où l'on évite de se placer lorsqu'on fait une analyse : d'ailleurs ces conditions ne peuvent pas être déterminées d'une manière absolue. Nous considérons le fait de la précipitation totale de l'alumine par l'ammoniaque sans sels ammoniacaux comme un fait possible et incontestable, mais trop irrégulier par sa nature pour qu'il puisse entrer dans le domaine de l'application.

La précipitation d'une matière dissoute déterminée par la seule influence du temps, sans diminution de température ou sans évaporation, et sans aucun changement apparent dans l'état de la liqueur, est un fait déjà observé. La précipitation spontanée de l'alumine entre dans un ordre de faits déjà connu. Nous relaterons une expérience qui met au jour le mécanisme de la solubilité et de l'insolubilité successives de l'alumine dans l'eau ammoniacale.

Nous avons abandonné en vase clos de l'alumine gélatineuse et de l'eau ammoniacale bien pure ; au bout de plusieurs mois, nous avons remarqué que l'alumine avait perdu son aspect gélatineux, avait acquis un aspect grenu, et sa solubilité dans les acides et les alcalis était devenue moins prompte. Il nous semble que l'on peut expliquer cette transformation de l'alumine, en admettant qu'elle se dissout au fur et à mesure dans la liqueur ammoniacale, d'où elle se précipite plus tard en prenant l'état grenu.

Il est inutile d'ajouter que nous avons constaté directement que l'alumine gélatineuse se dissout en quantité sensible dans l'eau ammoniacale, non-seulement à l'état naissant, mais même quand elle est préparée à l'avance.

Nous allons maintenant examiner le cas de la précipitation de l'alumine par l'ammoniaque, en présence de sels ammoniacaux ; ce cas est le plus ordinaire, c'est celui qui est accepté avec le plus de confiance, mais qui cependant peut

impliquer des causes d'erreur, si l'on ne tient pas compte du volume du liquide sur lequel on expérimente, du volume d'ammoniaque qui sert à précipiter, et des proportions nécessaires entre ces volumes et le poids du sel ammoniacal.

Nous n'avons qu'à appeler l'attention des chimistes sur le tableau n° III (*voyez* page 436).

Nous ferons observer que nous aurions pu enrichir ce tableau d'une quantité d'expériences que nous avons jugé superflu de produire. Nous nous sommes bornés à consigner celles qui nous ont donné la totalité de l'alumine dissoute, et celles qui ont immédiatement précédé ces dernières. Il est probable que la quantité de sel ammoniac nécessaire pour précipiter toute l'alumine est intermédiaire entre les deux chiffres que nous avons consignés au tableau; mais, dans tous les cas, on voit entre quelles limites il faut se tenir, si l'on veut une précipitation complète de l'alumine.

Au premier coup d'œil jeté sur ce tableau, on s'aperçoit que la quantité d'alumine qui reste en dissolution, lorsqu'il y a une certaine proportion de sel ammoniac, est bien loin d'être considérable. Sur vingt-quatre expériences il y en a vingt-deux qui réduisent la perte de l'alumine à un centième et demi environ.

On voit aussi que l'influence de la quantité d'ammoniaque employée ne devient réellement sensible que lorsque le volume total de la masse liquide devient assez considérable; en effet, 20 centimètres cubes d'ammoniaque liquide dans un volume total de 110 centimètres cubes ont exigé, pour précipiter au bout de seize heures toute l'alumine, la même quantité de sel ammoniac qu'ont exigée 5 centimètres cubes d'ammoniaque dans le même volume de liquide. Mais, lorsque le volume total de la dissolution s'est approché de 200 centimètres cubes, l'augmentation de l'ammoniaque a rendu nécessaire une augmentation de sel ammoniac pour effectuer la précipitation complète de l'alumine.

Enfin l'influence du volume total de la dissolution res-

sort dans ce tableau d'une manière frappante, ainsi que dans les tableaux précédents. Pour précipiter 2 décigrammes d'alumine dissous dans un volume de 470 centimètres cubes, il y a fallu 50 grammes de sel ammoniac, tandis que la même quantité d'alumine dans un volume total de 110 centimètres, toutes choses égales d'ailleurs, n'a exigé que 5 grammes de sel ammoniac.

Nous doutons que tout ce qui a été dit dans les Traités classiques d'analyse autorise à prévoir les résultats qui ont été donnés par les expériences consignées dans ce tableau.

Il nous reste maintenant à démontrer que de tous les réactifs usités pour précipiter l'alumine, le plus propre à effectuer immédiatement une précipitation complète de cet oxyde, même en l'absence totale de sels ammoniacaux, c'est le sulfure d'ammonium.

Voici les expériences dont les résultats nous paraissent péremptoires :

Tableau n° IV. — *Influence du sulfure d'ammonium pour précipiter immédiatement toute l'alumine.*

Dissolution d'alun ammoniacal, dont chaque centimètre cube renferme $0^{gr},004$ d'alumine	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}
Eau distillée	50	200	400
Dissolution ordinaire du sulfure d'ammonium	20	20	20
Temps écoulé entre la précipitation et la filtration	5^{m}	5^{m}	5^{m}
Alumine obtenue	$0^{gr},200$	$0^{gr},200$	$0^{gr},200$

On voit donc, par ces trois expériences comparatives, que le volume de la dissolution et le temps écoulé entre la précipitation et la filtration deviennent des circonstances indifférentes pour obtenir la totalité de l'alumine, lorsque le réactif précipitant est le sulfure d'ammonium.

Nous avons déjà indiqué une expérience, en commençant, qui prouve que le carbonate ammoniacal est loin de partager avec le sulfure d'ammonium la même efficacité pour rendre libre l'alumine; nous avons donc jugé inutile d'expérimenter méthodiquement avec le carbonate d'am-

moniaque, pour prouver la préférence à laquelle a droit le sulfure d'ammonium comme réactif précipitant.

Nous devons, avant de terminer, faire deux observations : la première, c'est que tous les chiffres consignés dans les différents tableaux ne représentent rien d'absolu, à cause de l'irrégularité de la précipitation spontanée de l'alumine d'une liqueur alumino-ammoniacale ; mais ces chiffres représentent des cas possibles, dont la connaissance ne peut pas être inutile pour ceux qui se livrent à des analyses minérales.

L'autre observation a pour objet de répondre à la question qui se présente naturellement à l'esprit, lorsqu'on voit des causes jusqu'à présent non soupçonnées, de perte dans les recherches analytiques de l'alumine. Il est tout simple que l'on demande s'il faudra douter de toutes les analyses des matières aluminifères, et comment il se fait que bien des analyses faites sur les mêmes matières par différents chimistes s'accordent généralement entre elles sous le rapport de l'alumine, malgré tant de chances d'erreur.

Si l'on a bien saisi l'ensemble des faits que nous avons exposés dans ce travail, on doit comprendre que si nous avons signalé de nouvelles causes d'erreur dans l'appréciation de l'alumine, nous avons aussi signalé toutes les circonstances qui peuvent les rendre sans effet.

Ainsi, dans tous les cas où l'on aura employé le sulfure d'ammonium comme réactif précipitant, toutes les fois que le volume de la dissolution aluminique n'aura pas été considérable, ou bien que la proportion des sels ammoniacaux dans la dissolution, même étendue, aura été assez forte, ou bien encore qu'un temps assez long se sera écoulé entre la précipitation et la filtration, la perte de l'alumine n'aura pas été sensible.

En faisant l'analyse de la laumonite, nous avons trouvé un exemple frappant de l'énorme perte d'alumine qu'il est possible d'éprouver lorsqu'on néglige certaines précautions. C'est même cet exemple si extraordinaire qui a été pour nous l'occasion de ce travail.

On sait que la laumonite est un silicate de chaux et d'alumine hydraté, qui renferme à peu près 22 à 24 pour 100 d'alumine. A cause de la présence de la chaux, nous jugeâmes à propos d'étendre la dissolution acide avant de la précipiter par l'ammoniaque. Nous fûmes bien étonnés de n'obtenir de cette manière que 8 pour 100 d'alumine, malgré la présence, dans la dissolution, d'une certaine quantité de sel ammoniac. L'un de nous, en faisant, il y a plusieurs années, de nombreuses analyses de kaolin par l'acide hydrofluorique (procédé qui rend nécessaire, comme tout le monde sait, une dissolution fort étendue de l'alumine du minéral), se vit obligé de renoncer à jamais à l'emploi de l'ammoniaque liquide comme précipitant, pour se servir de sulfure d'ammonium, tant fortes étaient les portions d'alumine qui restaient en dissolution avec les alcalis du kaolin.

En résumé, il est connu que l'alumine n'est jamais précipitée complétement de ses dissolutions par l'ammoniaque, sans la présence de sels ammoniacaux. Mais la quantité qui reste dans le liquide, loin d'être à peine appréciable, peut atteindre, au contraire, de fortes proportions, et qui augmenteront encore, non-seulement en raison de l'excès d'ammoniaque, mais suivant que la dissolution sera de plus en plus étendue d'eau.

L'alumine est précipitée entièrement, comme on le sait, en présence de sels ammoniacaux; mais la quantité de ces sels doit être d'autant plus grande, que la dissolution aluminique est plus étendue.

L'alumine peut se séparer entièrement d'une dissolution, même très-étendue, malgré un excès d'ammoniaque et l'absence des sels ammoniacaux, pourvu qu'il s'écoule un temps assez long entre le moment de la précipitation et celui de la filtration.

Enfin, l'alumine peut être précipitée complétement et immédiatement par le sulfure d'ammonium, quand même la dissolution serait très-étendue, et sans la présence des sels ammoniacaux.

Tableau n° III. — *Influence du sel ammoniac sur la précipitation de l'alumine.*

	A.						B.					
Dissolut. d'alun ammoniacal dont chaque cent. cube renferme $0^{gr},004$ d'alumine..	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}
Eau distillée	55	55	50	50	40	40	115	115	110	110	100	100
Ammoniaque liquide	5	5	10	10	20	20	5	5	10	10	20	20
Volume total	110	110	110	110	110	110	170	170	170	170	170	170
Temps écoulé entre la précipitation et la filtration	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}
Sel ammoniac	5^{gr}	$2^{gr},5$	5^{gr}	$2^{gr},5$	5^{gr}	$2^{gr},5$	$7^{gr},5$	5^{gr}	10^{gr}	$7^{gr},5$	10^{gr}	$7^{gr},5$
Alumine précipitée	$0^{gr},200$	$0^{gr},197$	$0^{gr},200$	$0^{gr},196$	$0^{gr},200$	$0^{gr},172$	$0^{gr},200$	$0^{gr},197$	$0^{gr},200$	$0^{gr},197$	$0^{gr},200$	$0^{gr},197$

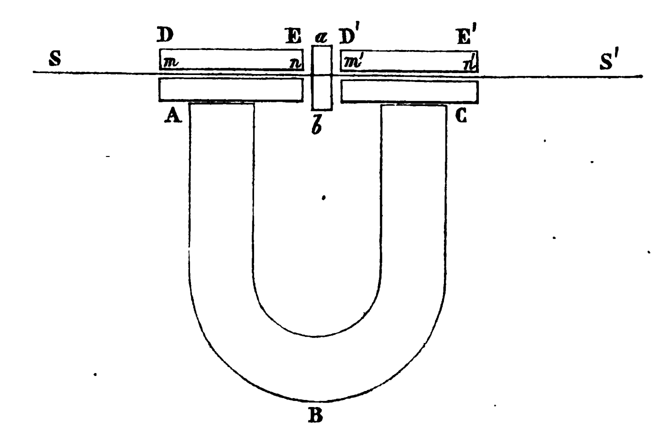
	C.						D.					
Dissolut. d'alun ammoniacal, dont chaque cent. cube renferme $0^{gr},004$ d'alumine.	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}	50^{cc}
Eau distillée	215	215	210	210	200	200	415	415	410	410	400	400
Ammoniaque liquide	5	5	10	10	20	20	5	5	10	10	20	20
Volume total	270	270	270	270	270	270	470	470	470	470	470	470
Temps écoulé entre la précipitation et la filtration	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}	16^{h}
Sel ammoniac	15^{gr}	10^{gr}	20^{gr}	15^{gr}	30^{gr}	25^{gr}	25^{gr}	20^{gr}	40^{gr}	30^{gr}	50^{gr}	40^{gr}
Alumine précipitée	$0^{gr},200$	$0^{gr},196$	$0^{gr},200$	$0^{gr},197$	$0^{gr},200$	$0^{gr},188$	$0^{gr},200$	$0^{gr},197$	$0^{gr},200$	$0^{gr},196$	$0^{gr},200$	$0^{gr},188$

EXPÉRIENCES

Concernant l'action du magnétisme sur tous les corps;

PAR M. EDMOND BECQUEREL.

M. Faraday a découvert, il y a quelques mois, qu'un puissant électro-aimant peut agir sur une substance transparente, de telle sorte que, si un rayon de lumière polarisée traverse cette substance dans la direction de la ligne des pôles ou de l'axe magnétique, le plan de polarisation est dévié soit à droite, soit à gauche, suivant la direction de l'aimantation. Depuis cette époque, M. Faraday a publié plusieurs Mémoires, et un grand nombre de physiciens se sont empressés de répéter ses expériences; mais jusqu'ici, que je sache, l'action n'a pas été assez puissante pour permettre d'analyser complétement le phénomène. J'ai cherché à augmenter beaucoup ces effets, et je crois y être parvenu en me servant d'un énorme électro-aimant, et en disposant les substances autrement qu'on ne l'avait fait jusqu'ici. Je pense donc qu'il est de quelque intérêt d'exposer les résultats que j'ai obtenus.



Je commencerai d'abord par décrire l'appareil dont j'ai fait usage. L'électro-aimant représenté dans la figure, p. 437, est formé d'une barre en fer doux cylindrique ABC de 1 mètre de longueur et de 11 centimètres de diamètre, courbée en fer à cheval; les branches sont écartées à l'intérieur de 14 centimètres, et cette barre de fer pèse 63 kilogrammes. On a enroulé autour des deux branches AB, CD, et parallèlement, deux fils de cuivre recouverts de coton, de 910 mètres de longueur et de 2 millimètres de diamètre, de sorte que le courant peut passer, ou dans un seul fil de 1820 mètres de long et de 2 millimètres de diamètre, ou dans deux fils de 910 mètres et de même grosseur, ce qui équivaut à un seul fil d'un diamètre double. Le poids du cuivre de ces fils est de 50 kilogrammes.

L'électro-aimant est fixé solidement sur une table, de façon que le plan passant par les deux extrémités du fer doux est horizontal et à la hauteur de l'ouverture du volet d'une chambre obscure. Sur les branches de ce fer à cheval on place des masses de fer doux parallélipipédiques, DE, D′E′, de même largeur que le diamètre du fer, c'est-à-dire de 11 centimètres, de 16 centimètres de longueur et de 5 de hauteur. Ces masses de fer sont percées à la partie centrale, dans toute leur longueur, d'une ouverture cylindrique *mn*, *m′n′*, de 2 centimètres de diamètre, et on les dispose de façon que les deux ouvertures et celle de la chambre obscure soient dans le prolongement l'une de l'autre; on peut, en outre, les approcher ou les éloigner l'une de l'autre sans que les ouvertures cessent de se correspondre: de sorte que l'on peut faire varier depuis 0 jusqu'à 14 centimètres la distance qui existe entre les pôles contraires qui, par influence, se sont développés sur leurs faces en regard.

Les substances sur lesquelles on veut agir sont placées en *ab* entre ces morceaux de fer, de sorte que les pôles de ces derniers agissant normalement, la ligne magnétique se trouve être la direction du rayon lumineux *ss′*, et l'on observe les

phénomènes à travers les ouvertures longitudinales des fers doux. Ces masses, aimantées par influence, augmentent de beaucoup les effets, et comme leur intensité polaire croît à mesure qu'on les approche l'une de l'autre, on peut rendre sensible l'action du magnétisme sur des plaques transparentes de quelques millimètres d'épaisseur. On a aussi fait usage d'armatures disposées en retrait pour augmenter les effets du magnétisme; ces armatures, qui doivent être percées dans toute leur longueur comme les précédentes, donnent, dans certains cas, des effets très-énergiques.

L'électro-aimant étant décrit, voici comment on opère: On introduit la lumière blanche des nuées dans l'intérieur de la chambre obscure à l'aide d'un réflecteur placé à l'ouverture du volet; les rayons sont reçus à une certaine distance sur un prisme de Nichol situé en avant de l'électro-aimant, et qui peut être considéré comme polariseur (en polarisant immédiatement la lumière sur une glace inclinée sous l'angle de polarisation, les effets sont les mêmes). La lumière polarisée passe à travers les ouvertures des masses de fer $mn, m'n'$, traverse, par conséquent, la substance transparente ab placée entre eux, puis ensuite est reçue de l'autre côté de l'électro-aimant sur un second prisme de Nichol ou sur un prisme biréfringent, adapté au centre d'un cercle divisé perpendiculaire à la direction ss' des rayons lumineux. On emploie le prisme de Nichol quand les effets à observer sont faibles, et le prisme biréfringent dans le cas contraire. Des mouvements d'alidade permettent de tourner les prismes dans tous les azimuts possibles. Je nommerai *prisme objectif* celui qui est placé en avant de l'électro-aimant et qui donne la direction du plan de polarisation, et *prisme oculaire* celui qui est placé du côté de l'œil.

I. — *Effets produits sur les substances non cristallisées.*

Pour observer les solides, on les taille sous forme d'écran à faces parallèles; quant aux liquides, on les met

dans de petites cuves à eau ou dans des écrans en verre très-mince; ces écrans sont placés entre les masses de fer doux.

Une personne située dans une pièce voisine de la chambre obscure, et près de la pile qui doit influencer l'électro-aimant, peut, à l'aide d'un commutateur, faire passer le courant dans les fils métalliques, l'interrompre et le changer de direction à volonté. Afin d'éviter que, lors de l'aimantation, les deux masses de fer ne compriment la substance placée entre eux, on met dans l'intervalle une plaque de bois d'une épaisseur un peu plus forte que celle du corps et percée au centre, de sorte que celui-ci étant placé entre les fers doux, le bois reçoit seul la compression.

Si le prisme oculaire a été tourné de façon à éteindre l'image de l'ouverture du volet avant l'aimantation, aussitôt après le passage du courant la substance transparente est influencée, et l'image reparaît avec plus ou moins d'intensité, suivant la nature de cette substance : le courant cesse-t-il, l'image disparaît.

M. Faraday a annoncé que le phénomène était une rotation du plan de polarisation; il a trouvé que le sens de cette rotation ne dépendait pas des substances, mais de la direction de l'axe magnétique, et que, si le pôle austral était du côté de l'observateur, elle avait lieu vers la droite, tandis qu'elle avait lieu vers la gauche lorsque c'était le pôle boréal. Quand on opère avec la lumière blanche, comme je l'ai fait, alors au moment où les pôles magnétiques influencent la substance, l'image de l'ouverture de la chambre obscure paraît colorée en bleu-blanchâtre. Si l'on tourne le prisme oculaire pour diminuer l'intensité de cette image, elle paraît bleue avant le zéro, et rouge après, quel que soit le sens de cette rotation. J'ai fait usage, dans toutes ces expériences, d'une pile à charbon et acide nitrique de 40 à 50 éléments fortement chargée. J'ai vu alors qu'avec une telle action, en général, toutes les substances transparentes

placées entre les masses de fer sont influencées par le magnétisme.

J'ai opéré à l'aide de prismes de verre pesant (silicoborate de plomb) préparés par M. Faraday, et que MM. Biot et Dumas ont eu l'obligeance de me confier. Le verre pesant est la substance qui reçoit l'action la plus énergique de la part des aimants. Ces prismes, qui ont l'un 48 millimètres et l'autre 46 millimètres de longueur, donnent chacun entre les masses de fer aimantées environ 16 degrés de rotation ; avec une pile plus forte, on obtiendrait des effets beaucoup plus énergiques. Ces prismes, comme toutes les substances fondues, sont en général trempés, et présentent, lorsqu'on les analyse à l'aide de la lumière polarisée, des figures qui dépendent de leur état moléculaire. Afin de ne pas mêler les phénomènes de polarisation produits par l'influence du magnétisme et ceux qui proviennent de la trempe de la substance, il est nécessaire, comme le remarque M. Faraday, d'agir sur leur partie centrale qui présente la croix noire là où la lumière polarisée n'a pas éprouvé de modification. Pour atteindre ce but, on réduit l'ouverture du volet de la chambre obscure, et l'on approche le prisme oculaire du morceau de verre pesant. Alors le croisement des prismes de Nichol peut éteindre l'image de l'ouverture du volet. Lorsque le courant passe, cette image apparaît immédiatement colorée; en tournant l'oculaire, on aperçoit une succession de couleurs diverses, depuis le bleu clair jusqu'au jaune pâle, et l'impression que l'on ressent est la même que si l'on avait placé sur la route du rayon polarisé une plaque de quartz perpendiculaire à l'axe de $\frac{2}{3}$ de millimètre d'épaisseur, ou bien un tube d'eau légèrement sucrée.

En remplaçant le prisme de Nichol oculaire par un prisme biréfringent, puis tournant ce prisme sur le cercle divisé, on voit les images changer successivement de teinte dans les quatre quarts de la circonférence. Les couleurs indiquent une action inégale de la part du milieu influencé, sur les

différents rayons lumineux qui composent la lumière blanche ; il était donc important de savoir si la loi de ces inégalités est la même que celle qui a été découverte par M. Biot dans les substances douées naturellement de la rotation. M. Biot a trouvé, en effet, que dans le quartz la rotation soit à droite, soit à gauche, qui, suivant les échantillons, augmente proportionnellement à l'épaisseur, varie aussi pour les différents rayons simples ; l'angle de rotation, dans la plupart des substances actives, va en croissant avec la réfrangibilité, suivant une proportion sensiblement réciproque au carré de la longueur des ondulations propres à chaque espèce de rayon. Lorsque l'on cherche le pouvoir rotatoire de plusieurs corps, comme, en général, leur pouvoir dispersif n'est pas semblable, les rapports entre les angles de rotation des différents rayons simples ne sont pas les mêmes ; mais, si l'on opère à l'aide de deux substances de même pouvoir dispersif, l'ordre des couleurs et des teintes devra être semblable. Il résulte de là que, si ces deux substances ont des rotations égales et contraires, elles pourront se détruire complétement.

Quand on observe la rotation d'une substance et que l'on tourne le prisme oculaire, on observe successivement une série de couleurs qui sont dues à l'ensemble des rayons qui n'ont pas été éteints par cette position des prismes, et, après avoir passé le bleu, on arrive à une teinte violette-indigo que M. Biot a nommée *teinte de passage*. Cette teinte, par le moindre mouvement du prisme oculaire à droite ou à gauche, passe au rouge ou au bleu, ce qui la rend facile à apercevoir ; lorsqu'on l'a obtenue, et l'on ne se trompe pas de $\frac{1}{2}$ degré sur sa valeur, on est sûr que l'angle, dont on a tourné le prisme depuis sa position primitive, correspond à la rotation de la teinte complémentaire ou du jaune moyen de la partie la plus lumineuse du spectre. Après avoir déterminé la rotation du verre pesant par suite de l'action du magnétisme, soit 16 degrés, on prépare, d'a-

près la méthode indiquée par M. Biot, un tube d'eau sucrée qui ait la même rotation que celle de ce verre. Si l'on place ce tube entre l'oculaire et l'électro-aimant et que l'on fasse passer le courant successivement dans les deux sens, le verre est influencé; on n'observe aucun effet lorsque les rotations sont inverses, mais on a une rotation double quand elles agissent dans le même sens. Dans le premier cas, on ne voit plus de couleur; dans le second, la rotation est de 32 degrés.

Ces résultats montrent donc que l'effet produit par l'action du magnétisme est une rotation du plan de polarisation, et que, pour les différents rayons simples, la loi est sensiblement la même que celle qui a été donnée par M. Biot pour le quartz, le sucre, etc.

J'ai fait ensuite une expérience dont le résultat ressortait évidemment des expériences faites par M. Faraday dans les hélices, et de celles de M. Pouillet (*Comptes rendus*, tome XXII, page 143): j'ai placé le prisme objectif de Nichol de façon que le plan de polarisation fût successivement dans tous les azimuts, et j'ai toujours trouvé la rotation constante, quelle que soit cette direction du plan de polarisation primitif.

Lorsqu'on opère à l'aide d'écrans de même substance et de diverses longueurs, on est étonné de voir qu'un prisme de 1 à 2 centimètres, placé entre le fer doux dont on approche les faces de façon à être presque en contact avec celles des corps, donne une action presque aussi forte qu'un prisme de 10 centimètres placé dans des circonstances analogues. Cela provient de ce qu'à mesure que l'on rapproche les masses de fer, l'intensité polaire augmente de telle sorte, que l'accroissement d'intensité magnétique compense à peu près la diminution de longueur des substances impressionnées. Mais si on laisse les deux morceaux de fer à la même distance, et que l'on place entre eux des prismes

de diverses longueurs, l'effet augmente avec la longueur. Il n'y a donc pas avantage à se servir d'une épaisseur plus considérable que quelques centimètres.

Guidé par ces considérations, j'ai formé des espèces de piles en alternant des morceaux de fer doux percés et des écrans de substances actives de 1 centimètre d'épaisseur; mais quoique j'aie obtenu des effets plus marqués, je n'ai pas trouvé un très-grand avantage à opérer ainsi. Peut-être à l'aide d'une pile voltaïque plus forte, ou bien en entourant les systèmes fer doux et substances actives à l'aide d'hélices, obtiendrait-on des résultats beaucoup plus satisfaisants. Du reste, à priori, on conçoit que les effets doivent être plus énergiques dans des alternatives de petits tubes de fer et d'écrans que dans un tube de fer creux continu; car les molécules des corps transparents qui sont près des pôles reçoivent, presque entièrement seules, l'influence du magnétisme, l'action exercée sur les molécules qui s'éloignent de ces pôles étant beaucoup plus faible.

Les diverses espèces de verre sont inégalement impressionnables; le verre pesant de M. Faraday est la substance la plus fortement influencée, puis ensuite vient le flint et enfin le crown. Mais, presque tous les échantillons que l'on emploie étant trempés, il est nécessaire de prendre les précautions indiquées plus haut.

Tous les liquides que j'ai pu essayer m'ont présenté une action, mais elle est très-différente suivant les substances, comme M. Faraday l'a annoncé dans son Mémoire. Les chlorures montrent très-nettement le phénomène, et les belles couleurs dont j'ai parlé à propos du verre pesant. Dans une expérience j'ai eu pour rotations de liquides très-purs, placés dans un petit écran de 1 centimètre d'épaisseur : chlorure de zinc dissous, 6 degrés; chlorure de calcium et de sodium, tous deux, $4^{\circ},5$ à peu près; eau pure, 3 degrés; alcool et éthers, effet moindre que l'eau.

Ces nombres ne doivent pas être considérés comme des mesures, mais comme des indications qui montrent que l'effet change avec la nature du liquide.

II. — *Des corps cristallisés.*

M. Faraday, d'après ses expériences (*Archives des Sciences physiques,* Genève, 15 mai 1846), dit que les corps cristallisés semblent se refuser à la rotation du plan de polarisation sous l'influence du magnétisme, et que des morceaux de quartz, de chaux carbonatée, etc., perpendiculaires à l'axe, ne présentent aucun effet.

J'ai pensé que cela pouvait provenir de ce que l'action primitive de ces substances sur les rayons polarisés est telle, que les différences de 1 ou 2 degrés dans la rotation ne sont pas sensibles, et ensuite de ce que divers échantillons d'une même substance peuvent présenter des résultats différents, soit à cause de leur pureté, soit par tout autre motif. Les exemples suivants viennent à l'appui de cette manière de voir. Pour anéantir l'effet primitif des cristaux de quartz, j'ai choisi deux plaques de rotation contraire et d'égale épaisseur, qui se neutralisent complétement en les plaçant perpendiculairement au rayon polarisé. Dès l'instant que l'électro-aimant agit, l'effet se manifeste comme sur une plaque de verre, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, suivant la direction de l'aimantation ; mais il faut dire qu'il est beaucoup plus faible que dans cette dernière substance : chaque plaque avait à peu près 5 millimètres d'épaisseur.

J'ai opéré aussi en accolant l'une à côté de l'autre deux plaques analogues aux précédentes, et qui sont telles, qu'elles donnent la teinte de passage pour le croisement des deux prismes de Nichol (c'est un système à double rotation de M. Soleil, ayant $6^{mm},50$ environ d'épaisseur). Lorsque l'aimantation a lieu, on voit les teintes des deux plaques changer : l'une tourne au bleu, l'autre au rouge.

Ainsi, même dans cette circonstance, l'effet produit sur le cristal de roche est manifeste; mais je n'ai pu le rendre sensible dans tous les échantillons, car un écran très-diaphane ne m'a montré aucun effet appréciable, eu égard à la force de l'électro-aimant.

J'ai soumis à l'expérience les cristaux biréfringents qui ne sont pas doués de rotation : j'ai opéré d'abord avec le béril; M. Biot a eu l'obligeance de me confier plusieurs échantillons de cette substance. L'un d'eux, jaunâtre, de 1 centimètre d'épaisseur, placé perpendiculairement à l'axe, a montré la croix noire au centre d'une manière bien nette. Entre les aimants, l'action sur la croix noire a paru sensible, quoique faible, et cependant, en la mesurant, la rotation s'est trouvée de plus de 5 degrés. Cet effet provient, je le répète, de l'action énergique exercée primitivement par les cristaux sur la lumière polarisée par suite de leur constitution moléculaire, et qui fait qu'une très-faible rotation ou un léger changement dans la position du prisme oculaire est presque inappréciable.

Deux autres échantillons de béril verdâtre n'ont pas présenté d'action sensible.

Les observations faites avec la tourmaline viennent encore confirmer cette opinion, que divers échantillons d'une même substance donnent des résultats différents. Une tourmaline très-peu colorée, et perpendiculaire à l'axe, n'a donné lieu à aucun effet. On a soumis ensuite à l'expérience trois tourmalines parallèles à l'axe de 2 à 3 millimètres d'épaisseur; les deux premières étaient vertes, la troisième jaune foncé. En les plaçant successivement entre les masses de fer aimantées, de façon que le plan de polarisation primitif ne fût pas changé, les deux tourmalines vertes n'ont manifesté aucune action, tandis que la troisième a donné lieu à un effet très-faible, mais visible.

Quant à la chaux carbonatée, je n'ai pu observer aucun effet à l'aide des échantillons que j'avais à ma disposition.

Il résulte donc de là que le magnétisme peut influencer les cristaux biréfringents; seulement les effets sont plus faibles, plus difficiles à observer qu'avec les substances amorphes, et semblent diminuer à mesure que les échantillons sont plus transparents et plus purs.

III. — *Réflexions sur l'action du magnétisme sur tous les corps.*

Les résultats obtenus à l'aide de l'électro-aimant décrit plus haut confirment donc l'opinion, que le phénomène découvert par M. Faraday est une rotation du plan de polarisation imprimé au corps par l'influence du magnétisme et dont le sens dépend de la direction de l'axe d'aimantation, qui doit toujours être celle du rayon lumineux à l'aide duquel on analyse les effets produits. Ces résultats montrent aussi que les lois de la rotation des plans de polarisation des différents rayons lumineux sont sensiblement les mêmes que celles qui ont été données par M. Biot pour les substances dont les molécules sont douées naturellement du pouvoir rotatoire; mais il y a cette différence entre ces derniers et ceux qui sont influencés par le magnétisme, que, dans le premier cas, le phénomène est moléculaire et ne change pas avec la direction du rayon lumineux à travers la substance, tandis que, dans le second cas, la rotation dépend du sens de l'aimantation.

Je pense donc, et c'est la conséquence la plus vraisemblable qui résulte de mes expériences, que ces effets sont dus à un changement moléculaire dans l'état du corps; changement qui doit être symétrique tout autour de la direction de la ligne d'aimantation.

Dans le cours de ces recherches, j'ai été frappé d'un phénomène qui a été observé par M. Faraday. Lorsqu'on fait passer le courant dans le fil de l'électro-aimant, et qu'un corps transparent est influencé, l'image produite par la rotation du plan de polarisation n'acquiert pas im-

médiatement toute sa vivacité, mais elle augmente graduellement d'intensité. Quand on détruit le courant, l'image disparaît tout à coup.

M. Faraday pense que l'accroissement graduel de l'image est dû au temps que le cylindre de fer intérieur met à acquérir son maximum d'aimantation, et que plus le magnétisme devient intense, plus la lumière augmente. Mais si l'aimantation n'acquiert pas immédiatement son maximum, elle ne doit pas non plus se perdre tout à coup, et le temps nécessaire pour revenir au zéro quand on interrompt le courant doit être au moins à peu près le même que celui qui s'écoule entre le moment où l'on établit ce courant et l'instant du maximum: ainsi, on devrait voir l'image revenir graduellement au zéro, de même qu'elle était graduellement devenue visible. Comme il n'en est rien, je serais porté à croire que le développement successif du magnétisme n'est pas la seule cause qui produise le phénomène, et que l'effet est dû à l'action exercée par le magnétisme sur les molécules du corps, et provient de ce que ce dernier met un certain temps pour acquérir ce nouvel état d'équilibre; quand la force cesse d'agir, l'équilibre est détruit.

On a, du reste, des exemples d'équilibres moléculaires qui se rétablissent plus rapidement qu'ils ne se détruisent, quand l'action de la force qui les produit vient à cesser tout à coup. Toutefois je n'émets cette opinion qu'avec une extrême réserve, vu les nombreuses causes qui concourent à l'effet général.

Je ne puis m'empêcher de terminer cette Note sans dire quelques mots des expériences qui ont été faites par M. Faraday touchant l'action du magnétisme sur tous les corps, et qui ne sont plus relatives au changement des propriétés optiques de ces corps, mais bien à la direction des petites aiguilles de substances quelconques placées entre les pôles de deux aimants puissants.

Coulomb est le premier qui ait observé que tous les corps obéissent à l'action des aimants, mais plus faiblement que

le fer, le nickel et le cobalt. Mon père, en 1827 (*Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, t. XXXVI, p. 337), reprit la question au point où l'avait laissée ce célèbre physicien, confirma d'abord ce fait, que les substances telles que le bois, la gomme laque, le cuivre, etc., se comportent comme de petites aiguilles aimantées sous l'influence d'aimants énergiques, et observa, de plus, que dans certaines circonstances, au lieu de se mettre dans la direction de la ligne des pôles, ces nouveaux petits barreaux aimantés se plaçaient perpendiculairement ou obliquement à cette direction; enfin, suivant leur position et leur distance aux pôles, on pouvait les mettre dans toutes les directions possibles. Il a cherché dans certains cas la disposition des pôles, et a vu, lorsque le petit barreau était placé transversalement, que la distribution du magnétisme était aussi transversale.

Ces expériences ont été faites il y a près de vingt ans, et cependant M. Faraday, n'ayant pas eu probablement connaissance du Mémoire cité plus haut, a annoncé de nouveau le phénomène de la direction transversale, et a fait une nouvelle classe de ces corps qu'il a nommés *substances diamagnétiques*.

Je ne crois pas qu'il soit possible d'admettre cette distinction, puisqu'on peut donner à une même substance, suivant sa forme, les diverses positions, longitudinales, transversales et obliques. En effet, que l'on mette en regard l'une de l'autre, à 2 ou 3 millimètres de distance, les deux extrémités de deux forts aimants, et qu'on suspende à 1 millimètre de leur surface à peu près, à l'aide d'un fil de cocon, une petite aiguille de bois ou de cuivre, etc., de 1 millimètre de diamètre ou de 5 ou 6 centimètres de longueur, elle se mettra transversalement. Si l'on coupe cette petite aiguille en deux, puis ensuite encore en deux, etc., on finira par avoir un fragment qui se mettra dans la direction de la ligne des pôles. C'est tout simple-

ment un phénomène de résultante dépendant de l'intensité avec laquelle les aimants peuvent agir sur une substance, puisque l'on peut, je le répète, donner à celle-ci ces diverses positions suivant sa forme, en modifiant la distance des pôles.

On ne sait pas encore quelle relation existe entre les changements de propriétés optiques des substances transparentes et l'intensité d'aimantation donnée à ces substances par l'action du magnétisme; mais il est probable que ces deux phénomènes sont liés l'un à l'autre. S'il en était ainsi, et qu'alors le fer, le nickel et le cobalt eussent été transparents, on les aurait trouvés doués de propriétés rotatives bien plus énergiques que les autres substances.

Coulomb, après avoir trouvé que tous les corps obéissaient à l'action du magnétisme, attribua ce phénomène à la présence du fer, et chercha quelle quantité de ce métal était nécessaire pour donner lieu aux effets observés. Il trouva que la présence de $\frac{1}{133120}$ de fer était suffisante pour les expliquer.

Il y a un an, dans un Mémoire que j'eus l'honneur de présenter à l'Académie sur le même sujet (*Comptes rendus,* 9 juin 1845; ce Mémoire n'a pas encore été publié), j'ai trouvé un nombre analogue à celui de Coulomb, et je suis arrivé à cette conclusion, que l'action des aimants sur les substances transparentes pour les attirer et les diriger change avec la pureté des échantillons, et qu'on parvient, dans quelques cas (silice, iode, etc.), à obtenir des petites aiguilles qui sont à peine influencées par les aimants; j'ai dit alors, à la fin de ce Mémoire, que ces substances se comportent comme des mélanges de substances inertes et de particules magnétiques, et qu'il est probable qu'un grand nombre des effets observés sont dus à des mélanges de fer ou de composés ferrugineux. Ces conclusions subsistent encore aujourd'hui dans toute leur généralité, et les phénomènes remarquables découverts par M. Faraday, sur les

modifications optiques des substances transparentes, ne tendent qu'à montrer qu'il existe aussi une action exercée, de la part du magnétisme, sur les molécules des corps autres que le fer, le nikel et le cobalt. Alors les effets dus à l'action des aimants sur les petites aiguilles des diverses substances sont la somme des effets produits par le magnétisme : 1° sur les molécules des corps ; 2° sur les molécules de fer ou les particules magnétiques qui se trouvent mélangées avec les premières dans un grand nombre de cas.

Il est très-remarquable de rapprocher ces conclusions des observations que nous avons faites plus haut sur les changements de propriétés optiques des substances cristallisées. Nous avons vu, en effet, que dans ces dernieres, la rotation produite par le magnétisme change, pour une même substance, avec la nature des échantillons, et est plus faible dans les morceaux plus transparents ; exemples : silice, béril, tourmaline. Il y a donc, d'après cela, des probabilités très-grandes pour que les changements optiques soient dus à une action mécanique exercée par le magnétisme sur les molécules des corps, action qui est rendue manifeste par les attractions et répulsions de ces substances.

Dans le Mémoire cité plus haut, j'ai évalué les forces relatives exercées, de la part du magnétisme, sur le fer et les autres substances ; j'ai trouvé que l'action du magnétisme sur le fer, le nickel et le cobalt, étant représentée par 100 000, celle qui est exercée sur les substances transparentes et assez pures, et qui est variable d'une substance à une autre, est comprise, en général, entre 0 et 2. On peut donc admettre, en moyenne, que l'action du magnétisme sur les substances transparentes est au moins cent mille fois plus faible que l'action exercée sur le fer.

RECHERCHES SUR LE SANG;

Par M. DUMAS.

Le sang renferme trois matières organiques azotées essentielles à sa nature et à ses fonctions : la fibrine, l'albumine et la matière des globules. Leur abondance ou l'importance de leur rôle les ont, dès longtemps, signalées à l'attention particulière des chimistes et des physiologistes.

Mais, s'il est très-aisé de se procurer la fibrine du sang par le battage de ce liquide au sortir de la veine; s'il est non moins facile d'en obtenir l'albumine, en laissant son sérum se séparer par une coagulation spontanée, il n'en est plus de même lorsqu'on veut se procurer les globules débarrassés de fibrine ou d'albumine.

Dans ces derniers temps, toutefois, un procédé particulier, indiqué par M. Berzelius, et développé par M. Muller, a mis MM. Lecanu et Figuier sur la voie d'une méthode propre à fournir les globules purs de tout mélange.

Cette méthode est fondée sur une modification que le sang éprouve, par l'addition de certains sels, dans sa manière d'être à l'égard des ouvertures que lui offre le papier de nos filtres. Verse-t-on du sang battu, privé de fibrine, liquide par conséquent, sur un filtre de papier joseph, on voit les globules de ce sang passer au travers du filtre et fournir ainsi un liquide fortement coloré en rouge. La filtration, lente et pénible du reste, en pareil cas, ne laisse sur le filtre qu'un résidu de globules altérés et si peu abondants, qu'il devient impossible d'en étudier les propriétés.

Mais si, avant de filtrer le sang, on le délaye avec trois ou quatre fois son volume d'une dissolution saturée de sulfate de soude, ce mélange modifie tellement les propriétés de la liqueur où flottent les globules, qu'elle passe à travers les pores du papier, en laissant tous les globules sur le filtre. Elle coule donc complétement incolore et tout à fait limpide,

et, comme la filtration est rapide, les globules peuvent être recueillis dans un état de pureté et d'intégrité satisfaisant.

Toutefois, l'application de ce procédé n'est pas dépourvue de quelques difficultés dignes d'attention, par les circonstances qu'elles révèlent dans la nature et le rôle des globules du sang.

En effet, si l'on prend du sang dépouillé de fibrine, mais conservé pendant quelques heures, et qu'on essaye de le filtrer après une addition, même exagérée, de sulfate de soude, la liqueur passe difficilement, et passe toujours colorée à travers le filtre.

Il faut donc opérer sur du sang fraîchement extrait de l'animal. Dès qu'il est battu, que la fibrine en est coagulée, on le passe sur une toile fine et on le reçoit dans la dissolution de sulfate de soude. Le mélange étant jeté sur le filtre, on obtient une liqueur parfaitement limpide, légèrement teintée de jaune, et tous les globules demeurent sur le filtre.

Mais bientôt, cependant, la liqueur qui coule étant remplacée par une nouvelle dissolution de sulfate de soude destinée à laver les globules, on voit celle-ci couler colorée, faiblement d'abord, puis un peu plus, puis enfin en rouge si intense, qu'on ne saurait mettre en doute une altération profonde des globules contenus dans le filtre.

Cependant, pour obtenir les globules purs, on est bien obligé de les laver à plusieurs reprises avec une dissolution de sulfate de soude, sans quoi ils resteraient imprégnés de sérum du sang, c'est-à-dire d'une liqueur albumineuse, dont la présence masquerait totalement leurs caractères propres.

Après bien d'inutiles essais, j'ai reconnu dans les globules du sang une propriété remarquable, qui m'a permis d'écarter cette difficulté.

Tant que les globules du sang ont le contact de l'air ou de l'eau aérée, tant qu'ils sont à l'état artériel, en un mot,

la dissolution qui les renferme passe incolore à travers les filtres et les y laisse tous en passant.

Au contraire, dès que ces mêmes globules ont pris l'aspect violet qui caractérise le sang veineux, la liqueur coule colorée.

Il fallait donc maintenir les globules à l'état artériel pendant toute la durée de la filtration et des lavages. J'y suis parvenu d'une manière satisfaisante, en plongeant dans le filtre un tube effilé, au moyen duquel je dirige un courant d'air constant et rapide à travers la liqueur.

Ainsi agitée, celle-ci laisse difficilement déposer les globules sur les parois du filtre, et se trouve maintenue d'ailleurs dans un état d'aération favorable à la permanence de leur état artériel.

Je jette donc sur un grand filtre, mouillé d'avance d'une dissolution de sulfate de soude, le sang à peine sorti de la veine, mais défibriné et étendu de la dissolution de sulfate de soude : un courant d'air est sans cesse excité à travers le liquide que le filtre contient. Un filet continu de dissolution de sulfate de soude remplace la liqueur qui s'écoule.

Au moyen de ces précautions, les globules du sang peuvent être débarrassés du sérum. Toutefois, quand on veut que l'opération réussisse, il ne faut rien négliger pour en assurer la rapide exécution.

Pour peu que les globules aient le temps de se déposer sur les parois du filtre, et d'y former une couche d'une épaisseur sensible, ceux qui touchent à la surface du papier ne reçoivent plus d'air, et passent au violet, tandis que ceux qui constituent la couche extérieure conservent l'état artériel, et arrêtent évidemment tout l'air contenu dans la liqueur de lavage.

Dès lors, la liqueur passe colorée, et, si l'on ne remédie à cet inconvénient, sa coloration, qui va sans cesse en augmentant, accuse bientôt une profonde altération des globules.

Les globules du sang se comportent, dans ces diverses circonstances, comme s'ils constituaient des êtres véritablement vivants, capables de résister à l'action dissolvante du sulfate de soude, tant que leur vie persiste, mais cédant à cette action dès qu'il ont succombé à l'asphyxie, qui résulte pour eux de la privation de l'air, et qui se manifeste avec une singulière rapidité, soit par leur changement de couleur, soit par leur prompte dissolution.

Dès lors la tâche du chimiste doit consister à maintenir vivants ces globules, et, parmi les moyens qui se présentent à l'esprit, on peut citer l'agitation du liquide, son aération constante, enfin le maintien de la température au degré où elle se trouvait dans le corps de l'animal.

Toutes ces précautions réunies fournissent en quelques heures des globules purs, pourvu qu'on n'essaye pas d'en préparer plus de 5 à 6 grammes à la fois.

Cette altération si rapide des globules, dès qu'ils sont privés du contact direct de l'air ou de l'eau aérée; l'énergie extrême avec laquelle, dans une couche de globules, ceux qui occupent la surface s'emparent de la totalité de l'oxygène dissous dans l'eau, ne laissant parvenir à ceux qui sont placés au-dessous d'eux qu'une liqueur impropre à les artérialiser, sont des circonstances bien propres à fixer l'attention des physiologistes.

En effet, dans les discussions où les calculs dont la respiration a été l'objet, on a toujours regardé le sang comme un liquide homogène recevant le contact de l'air dans le poumon, et en subissant des altérations plus ou moins rapides.

Sans doute le sérum du sang constitue un tel liquide, et je ne viens pas contester la part qu'il peut prendre dans le phénomène de la respiration; mais les globules du sang constituent autant de vésicules flottant dans ce sérum, douées d'une respiration propre, dont les effets, confondus avec ceux qui résultent de la respiration du sérum, pro-

duisent par leur ensemble le phénomène général de la respiration du sang.

On pourrait donc dire, en mettant de côté pour un moment l'action propre du sérum sur l'air, que la respiration d'un animal supérieur, de l'homme en particulier, a surtout pour objet de fournir de l'oxygène aux globules de son sang, et d'expulser les produits dans lesquels ils le convertissent.

Dès lors, si l'on essaye de calculer les effets de la respiration, il faut tenir compte des membranes qui forment les enveloppes de ces globules, car on sait combien sont différents de la dissolution pure et simple des gaz, ces phénomènes d'endosmose si étranges qui se passent à travers les membranes qui servent à séparer deux réservoirs pleins de gaz différents, ou deux liquides chargés de gaz dissemblables aussi.

La respiration, pour être bien comprise, doit donc être étudiée dans ces vésicules ou globules sanguins, siége principal des phénomènes qu'elle est chargée d'accomplir, et dont l'organisation en complique étrangement les lois physiques.

La manière d'agir de ces globules sanguins sur l'air ambiant ou dissous, les conditions sous lesquelles elle conserve son caractère normal, deviennent, ainsi envisagées, d'un incontestable intérêt.

Or, pour reconnaître l'intégrité des globules et la conservation de leur propriété fondamentale, nous avons deux moyens également assurés : le microscope et l'agitation avec l'oxygène. Tant que les globules sont entiers, le microscope nous l'indique; tant qu'ils peuvent devenir artériels, ils rougissent dans leur contact avec l'oxygène.

Or tout le monde sait que le sang possède ces deux caractères pendant la circulation; il ne les perd pas après sa sortie du corps de l'animal. Le battage du sang qui sépare la fibrine laisse les globules intacts et ne les prive en rien de la faculté de s'artérialiser.

L'albumine n'est pas plus indispensable que la fibrine à ce phénomène. Quand on remplace peu à peu le sérum, où flottent les globules, par une solution de sulfate de soude, ils n'en conservent pas moins leur intégrité, comme on s'en assure au microscope, et ils n'en deviennent pas moins vermeils par leur agitation avec l'oxygène.

Ainsi, la faculté de prendre la couleur brillante du sang artériel appartient aux globules; elle est indépendante de l'albumine du sérum, de la fibrine du sang, de l'action vitale de l'animal.

Mais, si le sulfate de soude respecte cette propriété, en sera-t-il de même de tous les sels alcalins? Non, sans doute: l'expérience le démontre.

Le phosphate de soude ordinaire qui existe dans le sang, tout comme le sulfate, peut, comme lui, se mêler au sang à saturation, sans altérer en rien la possibilité de le rendre artériel. Du sang saturé de phosphate de soude, que l'on agite avec l'oxygène, y prend une teinte artérielle d'un rouge plus éclatant peut-être qu'avant cette addition.

Ainsi, relativement à cette propriété du moins, le sang peut, sans inconvénient, recevoir des quantités de sulfate ou de phosphate de soude bien supérieures à celles qu'il renferme.

Des sels produits par des acides organiques, tels que le sel de Seignette, sont dans le même cas, ce qui permet de croire que le lactate de soude peut exister dans le sang, même à dose élevée, sans qu'il en résulte aucun dommage sous ce rapport.

Mais en est-il de même du sel marin ou du chlorure de potassium? L'expérience montre que ces sels sont tout autrement doués.

Si l'on sature le sel marin du sang battu bien frais, et qu'on l'agite immédiatement avec du gaz oxygène, la couleur demeure violette et sombre.

Le sel ammoniac produit le même effet.

Y aurait-il quelque rapport entre ces phénomènes et l'ac-

cusation portée contre l'abus des viandes salées, qui prédisposerait au scorbut? Faudrait-il aussi trouver quelque rapprochement entre l'action du sel ammoniac sur le sang et l'action toxique exercée par ce sel et par tous les sels ammoniacaux ?

Quoi qu'il en soit, il y a des sels qui laissent au sang la faculté de s'artérialiser, et d'autres qui lui enlèvent cette propriété. Le sulfate de soude, le phosphate de soude, le sel de Seignette sont dans le premier cas ; les chlorures de potassium, de sodium et d'ammonium, dans le second.

Dans ces résultats, une circonstance se présente et ne saurait manquer de fixer l'attention. Les sels qui maintiennent dans le sang la faculté de s'artérialiser sont en même temps propres à conserver les globules dans leur intégrité, et lui donnent la propriété de fournir un sérum incolore par la filtration. Au contraire, ceux qui lui ôtent la faculté de devenir artériel laissent plus aisément filtrer un sérum coloré.

L'ensemble de ces expériences conduit à penser que la matière colorante du sang est surtout propre à prendre la teinte caractéristique du sang artériel, quand elle est unie aux globules mêmes dont elle fait partie. Ce caractère se modifie ou se perd quand, par la destruction ou l'altération des globules, la matière colorante entre véritablement en dissolution.

En comparant avec soin des échantillons du même sang mis en contact avec des sels alcalins et pouvant se saturer de ces sels à froid, il m'a paru qu'en général ces dissolutions salines, agitées avec de l'oxygène, se comportaient de la manière suivante :

Les sels renfermant des acides organiques complexes, comme les acides tartrique et citrique, conservent mieux l'intégrité des globules que les sels formés par des acides minéraux.

Les sels à base de soude sont plus propres à maintenir cette même intégrité que les sels à base de potasse ou d'ammoniaque.

Il paraît donc exister une liaison inattendue entre l'intégrité des globules, l'état artériel du sang, les phénomènes de la respiration et la nature ou la proportion des sels dissous dans le sang.

Il suffit d'avoir essayé quelques expériences de ce genre pour être convaincu que l'asphyxie peut être provoquée au milieu de l'air ou de l'oxygène, sans que rien soit changé en apparence dans les phénomènes de la respiration, par le seul fait de l'introduction de quelques sels qui modifient la manière d'être des globules du sang à l'égard de l'oxygène.

Je me permets d'appeler les regards des médecins sur cet ordre de phénomènes. A une époque où l'analyse du sang attire avec tant de raison leur attention, il serait à souhaiter que l'étude des globules, dans quelques maladies bien caractérisées, devînt l'objet de recherches particulières.

Tout porte à croire qu'il existe dans leur altérabilité plus ou moins grande, plus ou moins prompte, des degrés susceptibles de mesure et propres à être reconnus, si l'on recevait le sang de la saignée dans une dissolution de sulfate de soude, pour le soumettre ensuite à diverses épreuves, ou même si, après l'avoir défibriné, on essayait de l'altérer par des doses graduées de sels convenablement choisis, tels que le sel marin ou le sel ammoniac.

Sa résistance plus ou moins grande à ces sels altérants fournirait des indices que rien ne remplace aujourd'hui dans le diagnostic des maladies du sang.

L'analyse élémentaire des globules du sang était devenue si facile, une fois ces globules isolés, que j'ai pu l'effectuer avec pleine confiance dans les résultats. Les globules du sang, bien purgés de sérum, réunis sur des assiettes plates dans le vide séché par l'acide sulfurique, donnent, en très-peu de temps, un résidu parfaitement sec. Celui-ci, traité par l'éther et par l'alcool bouillants, devient insoluble dans l'eau qui peut alors en extraire le sulfate de soude qui restait mêlé aux globules. C'est après ces divers traitements

que j'en ai fait l'analyse élémentaire. En voici les résultats, abstraction faite des cendres :

	GLOBULES DU SANG			
	de femme.	de chien.		de lapin.
Carbone	55,1	55,1	55,4	54,1
Hydrogène	7,1	7,2	7,1	7,1
Azote	17,2	17,3	17,3	17,5
Oxygène, etc.	20,6	20,4	20,2	21,3
	100,0	100,0	100,0	100,0

Il résulte évidemment de ces analyses, comme on l'avait conclu des propriétés des globules du sang, que ces corps appartiennent à la famille des matières albuminoïdes. Si le carbone qu'ils renferment s'élève à un chiffre un peu supérieur à celui de la caséine ou de l'albumine, c'est que, dans les globules rouges, il existe une matière colorante bien plus carbonée qu'elle.

J'examinerai, dans un autre Mémoire, si la matière des globules du sang peut être confondue avec l'albumine ou la caséine, ou si, comme cela paraît probable, elle doit se distinguer de ces deux matières tout aussi bien que la fibrine elle-même.

Sur la formation artificielle d'un nouvel alcali végétal;

PAR M. G. FOWNES.

(Extrait des *Transactions philosophiques* de la Société royale de Londres, 1845, 2e partie, page 253.)

Traduit par M. ISIDORE PIERRE.

Il y a quelques mois, M. Morson m'a prié d'examiner une matière huileuse, de couleur brune, visqueuse; j'en avais six ou sept onces. Elle avait été obtenue par l'action de l'acide sulfurique sur le son. L'aspect goudronneux de cette substance était évidemment le résultat de l'oxydation, car le flacon dans lequel on l'avait conservée pendant cinq ans était mal bouché. Dans un autre flacon bien bouché, au

contraire, se trouvait une autre petite portion de la même substance, conservée pendant le même laps de temps; mais, quoique foncée en couleur, elle était restée parfaitement claire et parfaitement fluide.

On a soumis à la distillation, dans une cornue, une partie de cette huile, additionnée de beaucoup d'eau; il se condensa dans le récipient de l'eau, et une huile volatile d'un jaune pâle, pesante. L'opération terminée, il est resté dans la cornue une matière solide, poisseuse, insoluble dans l'eau, mais extrêmement soluble dans la potasse caustique, d'où elle était encore précipitable par l'addition d'un acide.

L'huile qui avait passé à la distillation, séparée, à l'aide d'un entonnoir, de l'eau qui la surnageait, fut mise en digestion, pendant quelques jours, avec du chlorure de calcium fondu, puis distillée de nouveau dans une petite cornue munie d'un thermomètre dont la boule plongeait dans le liquide. Une petite quantité d'eau passa d'abord avec l'huile, mais bientôt le dégagement d'eau cessa, et dès lors la température d'ébullition demeura tout à fait constante jusqu'à la fin de la distillation, qui fut conduite presque jusqu'à siccité. Il devenait probable, d'après cette expérience, que l'huile était une substance bien définie, et non un mélange de deux ou d'un plus grand nombre de corps.

L'eau qui passa avec l'huile dans la première distillation contenait une quantité considérable de cette substance en dissolution; elle était d'ailleurs extrêmement acide par la présence de l'acide formique.

L'huile purifiée fut ensuite soumise à l'analyse par la méthode ordinaire, par combustion avec l'oxyde de cuivre, et l'on obtint les résultats suivants :

	I.	II.	III.
Matière employée..........	5,73grains	7,79grs	5,547grs
Acide carbonique produit...	13,18	17,74	12,64
Eau produite..............	2,27	2,96	2,12

Comme on a reconnu qu'elle ne contenait pas d'azote,

on peut en déduire, pour la composition en centièmes (1) :

	I.	II.	III.
Carbone	62,73	62,11	62,14
Hydrogène	4,40	4,22	4,24
Oxygène	32,87	33,67	33,62

La formule

$$C^{18} H^{6} O^{4}$$

donnerait :

Carbone	62,50
Hydrogène	4,17
Oxygène	33,33

c'est-à-dire des nombres qui coïncident exactement avec ceux qu'on a trouvés par l'analyse.

Les principales propriétés de cette huile sont les suivantes:

Privée d'eau, et nouvellement rectifiée, elle est à peu près incolore; mais en peu d'heures elle acquiert une teinte brune qui passe quelquefois au noir pur.

Mise en contact avec l'eau, ou incomplétement anhydre, elle paraît moins sujette à changer, et prend simplement une couleur jaune.

Son odeur rappelle celle d'un mélange d'huile d'amandes amères et d'huile de cassia, mais elle est moins agréable.

Son poids spécifique, à + 15°,56, est 1,168; elle bout à 161°,7 centigrades, et distille sans altération à cette température.

Elle est très-soluble dans l'eau froide, et peut en être séparée de nouveau par distillation, en fractionnant les produits. L'alcool la dissout aussi avec beaucoup de facilité.

L'acide sulfurique la dissout à froid en donnant une couleur pourpre magnifique, et la dissolution est décomposée par l'eau avec séparation de la matière oléagineuse. Chauffée avec l'acide, elle est détruite avec dégagement d'acide sulfureux. L'acide chlorhydrique concentré agit d'une manière tout à fait analogue. L'acide nitrique, sous l'influence d'une faible élévation de température, attaque la matière

(1) On a pris le nombre 6 pour l'équivalent du carbone, rapporté à celui de l'hydrogène pris pour unité.

avec une prodigieuse violence, développant d'abondantes vapeurs rutilantes, et produisant de l'acide oxalique qui paraît être le seul produit restant.

Une dissolution de potasse caustique, à froid, dissout lentement cette huile et donne naissance à un liquide brun foncé, duquel les acides précipitent une matière résineuse; la chaleur produit très-rapidement la même réaction.

Le potassium métallique agit très-lentement sur l'huile froide; mais par la moindre élévation de température, il se produit une explosion accompagnée d'une flamme volumineuse et d'un dépôt de suie considérable. L'auteur eut même, dans une expérience de ce genre, la main vivement brûlée par une projection de potassium. La réaction la plus remarquable de cette substance, et la plus caractéristique, est celle qu'elle produit avec l'ammoniaque.

Lorsqu'on la met en contact avec cinq ou six fois son volume d'ammoniaque liquide, et qu'on abandonne le mélange à lui-même pendant quelques heures, il est graduellement, mais à la fin complétement converti en une masse solide, d'un blanc jaunâtre, un peu cristalline, très-volumineuse et tout à fait insoluble dans l'eau.

Elle peut être facilement recueillie sur un filtre, séparée de l'eau mère ammoniacale, et desséchée dans le vide au-dessus de l'acide sulfurique concentré.

Cette substance paraît être le seul produit de l'action de l'ammoniaque sur l'huile volatile. Divers échantillons de cette nouvelle substance, préparés de la manière précédemment indiquée, et desséchés avec le plus grand soin sur l'acide sulfurique, ont donné les résultats suivants dans les analyses qu'on en a faites par l'oxyde de cuivre. La proportion d'azote a été déterminée par l'excellente méthode de MM. Will et Varrentrapp.

	I.	II.	III.
Matière employée..........	7,948grs	6,37	4,195
Acide carbonique obtenu....	19,34	15,57	10,24
Eau......................	3,24	2,59	1,69

Ce qui donne, en centièmes:

Carbone....................	66,55	66,66	66,57
Hydrogène..................	4,53	4,52	4,47

Dosage de l'azote (1).

	I.	II.	III.
Matière employée............	6,02	4,65	4,45
Sel double de platine obtenu..	10,10	7,62	7,17
Azote pour 100.............	10,58	10,54	10,16

Les résultats qui précèdent s'accordent parfaitement avec la formule

$$C^{15}H^{6}AzO^{3};$$

celle-ci donne, en effet:

Carbone..............	67,13
Hydrogène............	4,47
Azote................	10,48
Oxygène..............	17,92
	100,00

Il résulte clairement de ce qui précède, que cette matière solide est produite par l'huile au moyen de l'assimilation de 1 équivalent d'ammoniaque et de l'élimination de 3 équivalents d'eau, comme l'indique la formule suivante :

Huile................	$C^{15}H^{6}\ O^{6}$	=	Matière solide.	$C^{15}H^{6}AzO^{3}$
+ 1 éq. d'ammoniaque.	$H^{3}Az$		+ 3 éq. d'eau..	$H^{3}\ O^{3}$
	$C^{15}H^{9}AzO^{6}$			$C^{15}H^{9}AzO^{6}$

Cette nouvelle substance se rapporte de fait à la classe des amides, auxquelles elle ressemble par beaucoup de caractères importants, comme nous le verrons plus nettement par la suite.

Le docteur Stenhouse a publié (2), en 1841, un Mé-

(1) Il ne serait peut-être pas inutile de dire que, dans la méthode que j'ai suivie, la substance organique est fortement chauffée dans un tube de verre dur avec un mélange de chaux vive et d'hydrate de soude. La totalité de l'azote s'en dégage à l'état d'ammoniaque, que l'on condense au moyen de l'acide chlorhydrique, et que l'on transforme ensuite en chlorure double de platine et d'ammoniaque. Du poids de ce composé, il est extrêmement facile de calculer celui de l'azote.

(2) *Philosophical Magazine*, février 1841; *Ann. der Chem. und Pharm.*, tome XXXV, page 301.

moire intéressant sur une matière huileuse particulière, mentionnée par Dœbereiner, pour la première fois, qui se produit accidentellement en très-petite quantité dans la préparation de l'acide formique artificiel au moyen du sucre de fécule, de l'acide sulfurique étendu et du peroxyde de manganèse. Il avait donné à cette substance le nom d'*huile artificielle de fourmis*.

Le docteur Stenhouse, dans le travail que nous venons de citer, parvint à préparer cette substance à volonté, et en quantité suffisante pour en faire un sujet de recherches ; il la trouva composée de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, et, ce qui lui parut très-extraordinaire dans une pareille substance, c'est que les deux derniers éléments étaient dans le rapport convenable pour former de l'eau.

Les résultats analytiques sont les suivants :

	I.	II.	III.
Carbone.........	62,59	61,87	62,55
Hydrogène.......	4,37	4,37	4,46
Oxygène.........	33,04	33,76	32,99

Ces nombres s'accordent parfaitement avec ceux que donnerait la formule

$$C^5H^2O^2.$$

Il n'est guère permis de douter que l'huile sur laquelle j'ai fait mes recherches soit identique avec la substance que nous venons de décrire ; ses propriétés s'accordent en tout parfaitement avec celles qui ont été assignées par M. Stenhouse à son intéressant produit, à l'exception de sa réaction extraordinaire sur l'ammoniaque, qui semble avoir échappé à son examen, probablement à cause du temps nécessaire pour la production de l'amide. Pour compléter l'identification, toutefois, je préparai une petite quantité de cette huile, en suivant exactement le procédé décrit et recommandé par le docteur Stenhouse. On mêla ensemble avec soin, dans un petit alambic en cuivre, 2 livres de farine d'avoine, 2 livres d'eau et 1 livre d'acide sulfurique, et l'on chauffa jusqu'à ce que la masse pâteuse devînt fluide par

suite de la conversion de l'amidon en dextrine ; on appliqua alors le chapiteau, qu'on luta avec soin, et la distillation commença. Dès que l'acide sulfureux commença à se dégager, on ajouta une livre d'eau, et l'on continua la distillation jusqu'à ce que le gaz commençât à se dégager en quantité très-considérable. Le liquide obtenu par la distillation fut alors concentré à moitié, et le résidu neutralisé par l'hydrate de chaux pour fixer l'acide sulfureux et l'acide formique, et distillé de nouveau en ne recueillant que le premier tiers du liquide.

On obtint de cette manière une petite quantité d'une huile jaune pesante ; on en obtint encore une petite quantité en soumettant le liquide aqueux à la distillation.

Autant qu'on en pouvait juger, cette huile correspondait, dans toutes ses propriétés, à celle que j'avais examinée moi-même ; dans l'ammoniaque, elle donna naissance, en peu d'heures, au composé jaunâtre caractéristique, identique, par sa composition et par ses propriétés, avec celui que j'ai déjà décrit. La nature de cette huile étant ainsi bien définie, continuons l'étude de notre amide.

J'ai déjà décrit le mode de préparation de cette substance ; elle se produit toujours lorsqu'on met en contact l'huile et l'ammoniaque. Elle est d'un jaune très-pâle, presque blanche et presque inodore lorsqu'elle est sèche et pure ; elle est insoluble dans l'eau froide ; l'alcool et l'éther, au contraire, la dissolvent avec facilité. On peut l'obtenir en houppes de petits cristaux courts aciculaires, par refroidissement d'une dissolution alcoolique saturée ; on l'obtient plus blanche et plus pure en ajoutant de l'ammoniaque à une dissolution aqueuse, saturée de l'huile en question, et abandonnant le mélange à lui-même pendant quelques jours. Par ses caractères chimiques, cette amide ressemble beaucoup à l'*hydrobenzamide* de M. Laurent, obtenue en mettant l'huile pure d'amandes amères dans l'ammoniaque liquide. Elle se décompose lentement dans l'eau par l'ébullition, et même par l'alcool bouillant dans l'ammoniaque libre et l'huile vola-

tile ; elle éprouve encore lentement le même genre d'altération par l'humidité et la température ordinaire de l'atmosphère. Par la chaleur, elle fond, s'enflamme, et brûle avec une flamme fuligineuse, laissant un dépôt de charbon compacte. Les acides la décomposent immédiatement ; il se forme un sel ammoniacal, et l'huile primitive est remise en liberté. Les alcalis exercent sur cette substance une action très-remarquable et digne d'attention. Lorsqu'on en fait bouillir avec une grande quantité de potasse en dissolution très-étendue, elle se dissout sans le moindre dégagement d'ammoniaque, et la liqueur dépose, par le refroidissement, de petites aiguilles blanches, soyeuses, d'une seconde substance nouvelle, ayant la même composition que l'amide elle-même, mais possédant toutes les propriétés d'une base organique très-stable et extrêmement énergique ; elle est fortement alcaline, et jouit de la propriété de former, avec les acides, une nombreuse série de sels bien définis, pour la plupart cristallisables et d'une grande beauté.

Divers échantillons de cette nouvelle base salifiable, préparés avec le plus grand soin dans différentes opérations, ont été soumis à une analyse immédiate, par combustion au moyen de l'oxyde de cuivre, après dessiccation dans le vide, au-dessus de l'acide sulfurique concentré. On a trouvé ainsi les résultats suivants :

	I.	II.	III.
Matière employée	2,668grs	3,985	3,698 (*)
Acide carbonique produit	6,53	9,74	9,06
Eau	1,12	1,63	1,51

ou, en centièmes :

Carbone	66,75	66,66	66,82
Hydrogène	4,66	4,54	4,53

Dosage de l'azote.

	I.	II.
Matière employée	3,79grs	3,75
Sel double de platine obtenu	6,12	6,11
Azote pour 100	11,18	10,28

(*) Cet échantillon avait été obtenu de l'oxalate par précipitation ammoniacale.

L'isomérie de ces deux substances paraît aussi complète que possible; les résultats analytiques offrent une coïncidence parfaite, et cependant quelle différence dans leurs propriétés !

Je suis porté à croire que la nature du changement isomérique que l'amide éprouve sous l'influence de l'alcali consiste simplement en une duplication de son équivalent; du moins c'est la manière la plus simple d'envisager ce changement. C'est d'ailleurs le seul produit qui se forme. On verra, par l'analyse des sels formés par cette substance, que la proportion de matière nécessaire pour former avec un acide un sel parfaitement neutre, organique ou inorganique, est exprimée par la formule

$$C^{30} H^{12} Az^{2} O^{6},$$

qui est le double de celle de l'amide,

$$C^{15} H^{6} Az O^{3};$$

mais, comme la constitution de cette dernière n'est pas encore parfaitement définie, puisque celle de l'huile est elle-même inconnue, et que l'amide ne forme pas de combinaisons, on doit considérer les vues précédentes comme purement conjecturales.

Passons maintenant à la description des propriétés de la nouvelle base salifiable, à celle de ses principaux sels que j'ai étudiés, et à la description de la meilleure méthode à suivre pour la préparer en quantité considérable.

Cette substance cristallise, par refroidissement d'une dissolution aqueuse bouillante, en belles aiguilles soyeuses, blanches, flexibles, ayant beaucoup de ressemblance avec celles de la caféine, et ces aiguilles sont tout à fait inaltérables à l'air, et même dans le vide sec. Elle n'a qu'une très-faible saveur, bien que ses sels soient très-amers : ils le sont beaucoup moins cependant que ceux de morphine ou des autres alcaloïdes extraits des écorces végétales. Elle est inodore. A une température inférieure à celle de l'eau bouillante, elle fond en un liquide oléagineux, pesant, à peu près incolore, et qui, par le refroidissement, prend bientôt

la consistance d'une résine molle; mais quelquefois il devient fragile et cristallin. Chauffée fortement dans l'air, cette nouvelle substance s'enflamme, et brûle avec une flamme rouge et fuligineuse, en ne laissant qu'une très-petite quantité de charbon solide. L'eau bouillante en dissout environ la cent trente-cinquième partie de son poids; mais, par le refroidissement, la presque totalité se dépose. L'alcool et l'éther la dissolvent avec la plus grande facilité, même à froid; la solution alcoolique dépose, par l'évaporation spontanée, des cristaux soyeux extrêmement brillants : le liquide a une grande tendance à grimper par-dessus les bords du vase. La réaction alcaline de la dissolution aqueuse chaude et de la dissolution alcoolique est très-énergique et parfaitement appréciable avec les papiers réactifs.

Cette substance se dissout très-rapidement dans les acides étendus et les neutralise parfaitement; la base est précipitée sans altération de ses combinaisons par l'ammoniaque ou par un alcali fixe.

Les sels de cette nouvelle base ne sont pas précipités par des dissolutions de peroxyde de fer, d'oxyde de cuivre ou d'argent, de chaux ou de baryte; le chlorhydrate forme, avec le sublimé corrosif, un sel double incolore, et, avec le chlorure de platine, un sel double d'un beau jaune vif. Chose plus remarquable encore, ils ne sont pas précipités sensiblement par la teinture de noix de galle. Les propriétés basiques de cet alcaloïde sont si énergiques, que lorsqu'on en fait bouillir avec une dissolution de sel ammoniac, il décompose ce sel avec dégagement d'ammoniaque et formation d'un chlorhydrate.

Les sels formés par cette curieuse substance sont extrêmement nombreux et mériteraient certainement un examen plus complet; les seuls que j'aie examinés jusqu'à présent sont les suivants.

Chlorhydrate.

Il s'obtient facilement en dissolvant l'alcaloïde dans l'acide chlorhydrique étendu et chaud jusqu'à saturation. Le sel, parfaitement neutre au papier réactif, forme des houppes soyeuses de cristaux aciculaires fort beaux, semblables à ceux de chlorhydrate de morphine. Ce composé est très-soluble dans l'eau pure, mais beaucoup moins soluble dans un excès d'acide chlorhydrique. Desséché dans le vide sur de l'acide sulfurique concentré, les cristaux ne perdent rien de leur éclat.

L'analyse du sel a donné les résultats suivants :

	I.	II.	III.
Sel employé	5,855grs	5,435	6,115
Acide carbonique produit	12,00	11,12	12,55
Eau	2,49	2,27	2,56

d'où

Carbone	55,89	55,62	55,97
Hydrogène	4,72	4,64	4,65

I. 6,027 grains de sel ont donné 2,69 de chlorure d'argent, ou 10,65 pour 100 de chlore.

II. 6,68 grains de sel ont donné 2,92 de chlorure d'argent, ou 10,60 pour 100 de chlore.

III. 6,147 grains de sel ont donné 8,24 de chlorure double de platine et d'ammoniaque, équivalant à 8,45 pour 100 d'azote.

La formule

$$C^{40} H^{18} Az^2 O^6, HCl + 2HO$$

donne des nombres qui s'accordent parfaitement avec la précédente, savoir :

Carbone	55,81
Hydrogène	4,65
Azote	8,72
Chlore	10,98
Oxygène	19,84
	100,00

Lorsqu'on mélange avec une dissolution de bichlorure de platine une dissolution du sel précédent, il se précipite une poudre cristalline d'un beau jaune, insoluble ou peu soluble; c'est un composé des deux sels. Il noircit et se décom-

pose par l'ébullition. Chauffé à l'état sec, il fond, noircit et se boursoufle considérablement en dégageant des fumées de sel ammoniac. L'incinération du charbon qui reste est très-lente et difficile.

L'analyse a donné, pour la composition de ce sel double, les résultats suivants :

Sel employé................	7,28grs
Acide carbonique produit...	10,16
Eau	1,97

ou bien

Carbone..................	38,06 p. 100.
Hydrogène	3,00

16,43 grains du même sel ont donné 3,36, ou 20,45 pour 100 de platine métallique.

La formule

$$C^{30}H^{12}Az^{2}H^{6}, HCl + PtCl$$

donnerait :

Carbone	37,97
Hydrogène	2,74
Platine.............	20,90

Nitrate.

C'est un fort beau sel qui forme des cristaux durs, transparents, incolores et très-brillants, dont la forme n'a pas encore été déterminée. Il se dissout facilement dans l'eau pure, mais il est très-peu soluble dans un excès d'acide nitrique. Les cristaux s'effleurissent et deviennent opaques dans une atmosphère sèche. Dans cet état, ils sont représentés par la formule

$$C^{30}H^{12}Az^{2}O^{6}, AzO^{5} + HO,$$

comme l'ont démontré les résultats de l'analyse directe :

Nitrate employé.............	5,62grs
Acide carbonique produit.....	11,19
Eau	2,02

ou bien

Carbone...........	54,30 pour 100.
Hydrogène.........	3,99 pour 100.

La théorie exigerait :

Carbone...........	54,35
Hydrogène........	3,93

Oxalate.

L'oxalate neutre est très-soluble ; il cristallise, comme le chlorhydrate, en houppes de fines aiguilles lorsque la dissolution est suffisamment concentrée.

Le bioxalate est médiocrement soluble à froid, et cristallise parfaitemeut bien lorsqu'une dissolution saturée à chaud est abandonnée à un refroidissement lent. Il se dépose alors des lames transparentes, semblables à celles de l'oxalate d'urée, douées d'une forte réaction acide lorsqu'elles sont en dissolution, et conservant leur brillant dans le vide sec.

Cette substance a donné à l'analyse les résultats suivants, qui s'accordent avec la formule

$$C^{30}H^{12}Az^{2}O^{6}, 2C^{2}O^{3} + 2HO:$$

Sel employé	4,808grs
Acide carbonique produit	10,05
Eau	1,76

4,85 grains de sel ont donné 5,95 de chlorure double de platine et d'ammoniaque, ou bien 7,74 pour 100 d'azote.

On en conclut :

Carbone	57,01
Hydrogène	4,06
Azote	7,74
Oxygène	31,19
	100,00

La théorie exigerait :

Carbone	56,96
Hydrogène	3,91
Azote	7,85
Oxygène	31,28
	100,00

Acétate.

Ce corps est très-soluble, et paraît incristallisable, ou du moins très-difficilement cristallisable.

Pour obtenir l'alcaloïde dans un grand état de pureté et parfaitement blanc, on peut suivre la méthode suivante, qui est très-simple et très-facile. L'amide, desséchée à l'air, ou mieux, sur l'acide sulfurique dans le vide, est projetée

dans un grand excès de dissolution étendue de potasse caustique bouillante, dans un grand ballon de verre placé sur une lampe ou sur un fourneau. Après dix ou quinze minutes d'ébullition, le changement est complet, et la nouvelle substance apparaît avec un volume considérable sous la forme d'une huile pesante jaunâtre, qui, lorsqu'on éloigne du feu le ballon de verre, se rassemble au fond du vase, et se solidifie par le refroidissement, tandis que la portion dissoute par le liquide s'en sépare par cristallisation.

Lorsque la matière est tout à fait refroidie, on verse le tout sur un filtre en toile et on lave un peu à l'eau froide, puis on dissout dans un grand excès d'acide oxalique en dissolution bouillante. Le liquide, filtré chaud, dépose, par le refroidissement, d'abondants cristaux d'oxalate acide de cette base; ces cristaux sont encore bruns et impurs.

On peut alors recueillir le sel sur un filtre de toile, le laver un peu et le comprimer, puis le redissoudre dans l'eau bouillante, et le chauffer, pendant quelques minutes, avec un peu de charbon animal, préalablement dépouillé de phosphates terreux par un lavage avec de l'acide chlorhydrique. La liqueur filtrée dépose alors l'oxalate acide parfaitement blanc et parfaitement pur.

Pour extraire du sel, ainsi purifié, le nouvel alcaloïde cristallisé, il suffit de dissoudre les cristaux d'oxalate dans une grande quantité d'eau bouillante, d'ajouter un excès d'ammoniaque, et de filtrer bien chaud très-rapidement. On lave avec de l'eau distillée les cristaux qui se déposent alors par le refroidissement, on continue le lavage jusqu'à ce qu'on ait entraîné tous les sels ammoniacaux et les autres sels, et jusqu'à ce qu'une petite quantité de l'alcaloïde, prise sur le filtre, brûlée sur une lame de platine, ne laisse pas de résidu.

Je suis assez embarrassé sur le choix du nom qu'il conviendrait de donner à ces curieux composés, d'autant plus que nous ne connaissons pas bien l'origine de l'huile qui leur donne naissance. Cette substance ne paraît avoir avec

l'acide formique d'autre rapport que celui d'une simultanéité tout à fait accidentelle de production. Elle se rapporte, par sa constitution, à la série du sucre et de l'amidon, en ce qu'elle contient l'oxygène et l'hydrogène dans les proportions convenables pour former de l'eau; elle se rattache, par ses propriétés, à l'huile d'amandes amères et aux huiles essentielles en général.

D'après les expériences que j'ai rapportées plus haut, elle paraît se produire beaucoup plus facilement et en très-grande abondance au moyen du son, puisqu'une livre de cette substance, distillée avec la moitié de son poids d'acide sulfurique et trois fois son poids d'eau, peut donner environ 1 gros d'huile, tandis qu'un pareil poids de riz ou de fécule de pommes de terre n'en donne que des traces. Dès lors, on pourrait peut-être lui donner le nom de *furfurol* (de *furfur*, son, et *oleum*, huile), et j'ai appris que cette dénomination avait été proposée par la Société qui a préparé depuis plusieurs années une assez grande quantité de cette substance, dont une portion a été mise à sa disposition, comme je l'ai rappelé au commencement de ce Mémoire, et pour laquelle on cherche à découvrir des applications. Je proposerai la nomenclature suivante :

Furfurol, le composé $C^{15}H^{6}O^{6}$ produit par l'action de l'acide sulfurique sur le son, etc.;

Furfurolamide, le produit $C^{15}H^{6}AzO^{3}$ de l'action de l'ammoniaque sur le furfurol;

Furfurine, l'alcaloïde $C^{30}H^{12}Az^{2}O^{6}$ produit par la duplication des éléments de la furfurolamide.

Je crois devoir, en terminant, recommander à l'attention des chimistes, comme un vaste champ d'investigations, l'étude de l'action de l'ammoniaque sur les huiles volatiles et sur d'autres composés de la même famille.

Nota. Depuis la lecture du Mémoire qui précède, j'ai reçu de M. W. Coley-Jones, de Plymouth, une communi-

cation qui a appelé mon attention sur un article du *Journal Polytechnique* (2 avril 1840), dans lequel il a décrit quelques-unes des propriétés les plus importantes de l'huile en question, entre autres celle de pouvoir donner naissance, avec l'ammoniaque, à un composé solide qui reproduit du furfurol par distillation avec l'acide sulfurique étendu. M. Jones préparait le furfurol avec les résidus de la préparation de l'amidon avec le blé; mais ni les détails de la préparation ni les analyses des produits n'ont été publiés.

Je n'hésite pas à reconnaître que l'honneur d'avoir découvert cette curieuse substance appartient en toute justice à M. Jones, et il est à regretter qu'il ne lui ait pas donné une plus grande publicité.

Sur de nouvelles séries de combinaisons de l'acide tungstique avec les alcalis;

Par M. MARGUERITTE.

On sait que l'acide tungstique, en se combinant avec les alcalis, forme des sels dans lesquels l'oxygène de l'acide est triple de celui de la base, et que les tungstates, considérés comme neutres, sont décomposés à froid par les acides.

Les combinaisons dont je vais parler montreront que non-seulement l'acide tungstique peut former des composés dans des proportions différentes de celles des tungstates connus, mais encore subir, dans ses réactions et ses propriétés ordinaires, des modifications qui présentent quelque intérêt.

Si l'on calcine le minerai de tungstène avec un carbonate alcalin en excès, on obtient une masse fondue qui, traitée par l'eau, donne une dissolution représentant un tungstate neutre, mêlé à l'excès de carbonate de l'alcali que l'on a employé.

En décomposant peu à peu cette liqueur par un acide, l'acide chlorhydrique par exemple, il se forme un précipité blanc d'acide tungstique hydraté, qui, dans les premiers instants, ne tarde pas à disparaître par l'agitation; mais si l'on poursuit la décomposition par un excès d'acide, le précipité reparaît pour ne plus se dissoudre. C'est le moyen ordinaire qu'on emploie pour préparer l'hydrate d'acide tungstique.

Si l'on filtre cette liqueur acide, et qu'on la mette en contact avec une lame de zinc, elle prend une coloration bleue très-intense, qui annonce la présence d'une grande quantité d'acide tungstique en dissolution. Or, d'après ce qu'on sait sur les propriétés de cet acide, il ne devrait rester dans la liqueur qu'une quantité correspondante à la solubilité de cet hydrate dans l'eau, qui, par l'ébullition ou l'évaporation, finit toujours par déposer. Après avoir évaporé cette dissolution, j'obtiens, à la suite de cristallisations successives de chlorure alcalin, une combinaison définie qui, comme on le voit, pouvait exister et cristalliser au sein d'une liqueur acide. Sur la petite quantité de ce composé que j'ai produit de cette manière, il m'a été facile de reconnaître qu'il contenait de l'acide tungstique et une base alcaline.

Recherchant les causes qui avaient présidé à la formation de ce sel, je crus devoir m'assurer si, dans la liqueur primitive, l'excès de carbonate alcalin était nécessaire.

La dissolution d'un tungstate d'une concentration moyenne fut traitée par quelques gouttes d'acide chlorhydrique; il se produisit un précipité qui se maintint à froid, et qui, à l'aide d'une légère chaleur, disparut complétement. Il devenait donc évident, par cette expérience, que l'hydrate d'acide tungstique pouvait se dissoudre, en l'absence de l'excès de carbonate, dans le tungstate neutre non décomposé.

En effet, lorsqu'on fait bouillir la dissolution d'un tung-

state neutre avec de l'acide tungstique hydraté, ce précipité disparaît rapidement et dans des proportions considérables. La liqueur, arrivée au point de saturation, dépose par le refroidissement une certaine quantité de l'hydrate qu'elle avait dissous à une température plus élevée. Ces dépôts continuent à se produire pendant l'évaporation ; mais, finalement, il cristallise une combinaison sous des formes qui varient suivant sa composition. Ce sel peut de nouveau se dissoudre, bouillir et cristalliser intégralement, en conservant ses propriétés.

Tel est le moyen le plus simple pour se procurer ces tungstates particuliers; cependant il existe un autre mode de préparation, qui se résume dans le premier. Ce second procédé consiste à faire bouillir un alcali caustique ou sans carbonate, avec un excès d'acide tungstique hydraté; mais on conçoit que c'est comme si l'on partait d'un tungstate neutre.

Les combinaisons qui se produisent de cette manière diffèrent, par leurs propriétés et leur composition, des tungstates neutres, les seuls que l'on connaisse, excepté les tungstates acides préparés par fusion, avec lesquels Woëhler a obtenu son composé sodique si remarquable.

Le procédé ordinaire pour doser l'acide tungstique, dont l'exactitude a été reconnue insuffisante par tous les chimistes, n'était pas applicable, d'une manière certaine, à l'analyse de ces sels; car, dans la limite des erreurs qu'on peut commettre en l'employant, la composition centésimale de ces combinaisons peut faire varier leur formule de 1 équivalent d'acide, ou tout au moins la laisser indécise. En effet, une différence de 1 à 2 pour 100 constitue un tungstate à 4 ou à 5 équivalents d'acide.

Cependant M. Berzelius, dans son *Annuaire* de 1841, donne un moyen précis de doser l'acide tungstique dans les tungstates neutres, par le nitrate de mercure. Mais j'ai craint que, précipitant ainsi les tungstates acides, l'excès

d'acide nitrique mis en liberté ne réagît sur le précipité de tungstate de mercure, et n'altérât ainsi l'exactitude de ce procédé.

Voici, au reste, celui dont je me suis servi, et qui m'a donné des résultats d'une concordance satisfaisante. Je le propose donc comme étant d'une grande simplicité et d'une exactitude rigoureuse.

On place, dans une petite capsule de platine, le sel à analyser, auquel on ajoute plusieurs fois son poids d'acide sulfurique pur et concentré. Employant d'abord une douce chaleur, on élève peu à peu la température jusqu'au rouge.

Après la calcination, le résidu se compose d'un sulfate acide et de l'acide tungstique mis en liberté. On le jette sur un filtre, on le lave avec de l'eau chargée de sel ammoniac, qui possède la propriété d'empêcher l'acide tungstique de se rehydrater et de passer à travers les filtres, ce qui arrive souvent, lors même qu'il a été calciné.

Quand les dernières eaux de lavage ne précipitent plus par le chlorure de barium, on calcine le résidu, pour chasser le sel ammoniac, et l'on ajoute quelques gouttes d'acide nitrique, pour faire disparaître les légères réductions que l'acide tungstique aurait pu éprouver, et achever la combustion des dernières traces de charbon provenant du filtre.

De cette manière on peut doser l'eau par une simple calcination, l'acide tungstique directement et l'alcali par différence.

Ayant essayé de doser l'alcali par la quantité d'acide sulfurique fixée, j'ai constaté que l'acide tungstique, de même que les acides silicique et borique, décomposait le sulfate neutre à la température qui est nécessaire pour détruire le bisulfate. L'acide tungstique rentre alors en combinaison avec l'alcali, en formant avec lui un tungstate plus ou moins acide. Il est donc important de ne pas aller jusqu'à cette limite.

Le bisulfate a l'avantage de présenter aux parties de sel qui ne seraient point décomposées, de l'acide sulfurique qui, à cette température élevée, agit énergiquement.

On peut s'assurer, au reste, que le sel a été entièrement attaqué, que l'acide tungstique ne s'est point rehydraté, par conséquent dissous, en traitant les premières eaux de lavage par une lame de zinc et de l'acide chlorhydrique. Il ne se produit pas alors la plus légère coloration bleue, et de très-petites quantités d'un tungstate, dans ces circonstances, seraient accusées par ce caractère.

Suivant ce procédé d'analyse, voici les résultats que j'ai obtenus sur les sels préparés par les moyens que j'ai indiqués :

1°. Bitungstate de soude (cristaux lamelleux), décomposable à froid par les acides, $NaO (WO^3)^2, 4\frac{1}{2} HO$;

2°. Tritungstate d'ammoniaque (cristaux octaédriques), fond dans son eau de cristal et sous l'eau, comme le phosphore, $AzH^4O, (WO^3)^3, 5HO$;

3°. Quadritungstate de soude (cristallisé en tables au sein d'une liqueur acide), $NaO (WO^3)^4, 3HO$;

4°. Pentatungstate de potasse (cristaux prismatiques), $KO, (WO^3)^5, 8HO$;

5°. Hexatungstate d'ammoniaque (cristaux lamelleux définis), $AzH^4O (WO^3)^6, 6HO$;

6°. Bitungstate double d'ammoniaque et de potasse, $KO (WO^3)^2, AzH^4O, (WO^3)^2, 6HO$.

On voit, par les sels dont je viens d'indiquer la composition, *qu'il existe des séries de tungstates avec* 1, 2, 3, 4, 5 *et même* 6 *équivalents d'acide tungstique contre un seul équivalent de base*, et, bien que je ne présente pas ici la série complète pour chaque base, il sera facile, en prenant le tungstate le plus acide, et lui faisant dissoudre une quantité déterminée d'alcali, de préparer les tungstates intermédiaires.

Un tungstate neutre dissolvant à l'ébullition une grande

quantité d'hydrate, qu'il abandonne ensuite par le refroidissement, il est possible qu'en changeant le milieu, on fasse précipiter ou cristalliser un tungstate d'un degré d'acidité supérieur à ceux que j'ai obtenus.

Ces tungstates jouissent de propriétés intéressantes :

1°. Mis en contact avec les acides chlorhydrique, nitrique, sulfurique, ils ne sont pas décomposés à froid, et même jusqu'à la limite de l'ébullition.

Ce n'est qu'au bout d'un temps plus ou moins long, à froid et à l'ébullition, qu'ils laissent déposer de l'acide tungstique sous leur influence. Cette stabilité singulière, en présence des acides qui toujours décomposent instantanément à froid ces tungstates neutres, semble devenir d'autant plus grande que leur degré d'acidité est plus élevé. Ainsi les tungstates de soude du premier et du second degré sont décomposables à froid par les acides; mais celui du quatrième degré est tout à fait stable.

2°. Leur solubilité est loin de diminuer en raison de la quantité d'acide tungstique qu'ils contiennent, car le quadritungstate de soude est beaucoup plus soluble que le bitungstate.

3°. Traités par un excès d'alcali, ils redeviennent décomposables à froid par les acides, parce qu'ils sont ramenés à l'état de tungstates neutres, et qu'ils en retrouvent les propriétés. Sous l'influence d'un alcali caustique ou d'un carbonate, il se forme un précipité blanc qui, à froid, est insoluble dans l'excès d'alcali, et qui ne disparaît qu'à l'ébullition; mais il est instantanément soluble dans la dissolution d'un tungstate neutre. Ce précipité représente de l'hydrate d'acide tungstique retenant une certaine quantité d'alcali que les lavages ne lui enlèvent jamais complétement, car il se dissout peu à peu dans les proportions mêmes des éléments qui le constituent. Mais le fait à remarquer est l'insolubilité à froid de l'acide tungstique précipité d'un tungstate acide par un excès d'alcali, tandis que

l'hydrate, précipité d'un tungstate neutre par un acide, est entièrement soluble dans cette circonstance.

Lorsqu'on agit dans des liqueurs assez étendues et qu'on ne met pas un trop grand excès d'alcali, l'addition d'un acide fait disparaître le précipité d'hydrate qui se forme dans la dissolution d'un tungstate acide.

4°. Ils ont, au papier de tournesol, une réaction acide bien tranchée, tandis que les tungstates neutres paraissent avoir une réaction nulle, ou même légèrement alcaline.

5°. Leur saveur est d'une amertume caractéristique, et beaucoup plus prononcée que celle des tungstates neutres.

6°. Calcinés, ils perdent leur eau de cristallisation et de constitution; en devenant jaunes et cessant d'être solubles, ils contiennent, sans aucun doute, de l'acide tungstique libre. Chauffés à l'étuve jusqu'à 220 degrés, ils abandonnent, sans devenir jaunes et insolubles, une certaine quantité de leur eau de cristallisation, et ce n'est qu'à une température plus élevée que la combinaison se détruit et devient insoluble en perdant les dernières qnantités d'eau qu'elle retient plus fortement.

7°. Par double décomposition, ils forment des tungstates insolubles correspondants qui, au moment même de leur précipitation, sont solubles dans ces acides pendant quelque temps sans se décomposer; mais après une dessiccation spontanée, ou dans le vide, ou dans le milieu même de leur formation, ils perdent bientôt cette propriété.

Leurs conditions de stabilité en présence des acides semblent donc être inhérentes à leur état d'hydratation.

8°. Ils peuvent former des sels doubles acides en se combinant les uns avec les autres dans diverses proportions, et ils jouissent des mêmes propriétés : le sel double ammoniaco-potassique, par exemple.

Quelle que soit l'explication qu'on veuille donner de ces faits, qu'on admette l'existence d'une modification isomérique de l'acide tungstique soluble dans les acides minéraux,

qu'on fasse intervenir l'eau comme jouant le rôle d'une véritable base, il est intéressant de voir qu'un sel décomposable par les acides devient stable par ce seul fait qu'il prend 1 équivalent d'acide tungstique de plus, qu'il conserve, je dirai même qu'il acquiert une solubilité plus grande dans des circonstances où il semblerait qu'il dût devenir insoluble; car, à l'occasion des savons, M. Chevreul avait fait cette observation générale, que plus un sel à acide de nature insoluble est acide, plus il devient insoluble lui-même.

Ce qui engage à admettre que l'eau joue dans ces combinaisons le rôle de base, c'est, d'un côté, la ténacité avec laquelle une certaine quantité est retenue au delà de 220 degrés, la couleur jaune et l'insolubilité que prennent ces sels lorsqu'on la leur a enlevée par la chaleur; et, d'un autre côté, la composition fractionnaire pour l'eau que quelques-uns de ces sels semblent réellement affecter : car ayant opéré sur un sel parfaitement pur et cristallisé plusieurs fois, je ne puis douter de l'exactitude de cette analyse, et, bien que les fractions d'équivalents d'eau soient peu habituelles, je dois cependant les admettre dans la composition du bitungstate de soude.

Ainsi, au lieu de grouper autour de l'alcali toute la quantité d'acide tungstique, on peut faire intervenir l'eau de manière à représenter des tungstates doubles d'eau et d'alcali. Mais alors, pour le tungstate ammoniaco-potassique, il faudrait admettre, par la même raison, que c'est un tungstate triple de deux alcalis et d'eau. On ne peut faire, au reste, que des hypothèses quant à la constitution moléculaire de ces combinaisons.

Le molybdène, qui présente déjà tant d'analogie avec le tungstène, donnera probablement des molybdates semblables, et la solubilité de l'acide molybdique dans les acides ne peut qu'être favorable à la formation de ces composés.

Dans un Mémoire que j'aurai l'honneur de soumettre prochainement à l'Académie, on pourra remarquer que

l'acide tungstique, vis-à-vis des acides organiques, présente des propriétés analogues à celles qu'il montre envers les acides minéraux : par exemple, sa stabilité complète à l'état d'hydrate dans les acides oxalique, tartrique, les divers oxalates et le bitartrate de potasse, sa précipitation par les alcalis dans certaines circonstances, et la propriété qu'ont les acides de décomposer les tungstates sans précipiter l'acide tungstique.

RECHERCHES SUR LA BENZOLINE,

Nouvel alcaloïde extrait de l'huile d'amandes amères;

PAR M. G. FOWNES.

(Extrait des *Transactions philosophiques* de la Société royale de Londres, 1845, 2e partie, page 263.)

Traduit par M. ISIDORE PIERRE.

Lorsqu'on laisse pendant quelques jours, à la température ordinaire, l'huile pure d'amandes amères en contact avec l'ammoniaque concentrée, elle se transforme lentement, mais complétement à la fin, en une substance blanche, cristalline, insoluble dans l'eau, mais très-soluble dans l'alcool chaud.

La solidification de l'huile est complète, et il ne se forme pas de produit secondaire.

Cette substance a été examinée par M. Laurent (1), qui lui a donné le nom d'*hydrobenzamide*, et lui a assigné pour formule

$$C^{42}H^{18}Az^{2}.$$

Elle est engendrée par l'union de 2 équivalents d'ammoniaque avec 3 équivalents d'hydrure de benzoïle, avec séparation de 6 équivalents d'eau.

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, tome LXII, page 23.

3 équival. d'huile d'amandes amères, $3C^{14}H^6O^2$, 2 équivalents d'ammoniaque, $2AzH^3$,	=	Hydrobenzamide, $C^{42}H^{18}Az^2$. 6 équivalents d'eau, $6HO$.

Les acides décomposent immédiatement l'hydrobenzamide avec séparation d'huile d'amandes amères et formation d'un sel ammoniacal. Avec les alcalis, les choses se passent différemment; une dissolution de potasse, même bouillante, n'y produit, suivant M. Laurent, aucun changement appréciable.

J'ai remarqué cependant que, lorsque l'ébullition est prolongée pendant quelques heures, il se produit un changement analogue à celui qu'éprouve la furfurolamide (1) dans les mêmes circonstances. On voit apparaître, dans la dissolution, des flocons cristallins brunâtres, et, après le refroidissement, le gâteau résineux qui reste paraît moins fusible et plus dur que l'hydrobenzamide qu'on aurait fondue et laissée se solidifier ensuite. Cette transformation n'est accompagnée d'aucune variation de poids sensible, bien qu'il se dégage, pendant toute la durée de l'ébullition, une faible odeur d'huile d'amandes amères. La nouvelle substance que l'on obtient ainsi est une base organique salifiable, ayant la même composition que l'hydrobenzamide elle-même; cependant je pense qu'on peut, avec raison, lui donner le nom de *benzoline*.

Les sels de benzoline sont, pour la plupart, peu solubles, à l'exception de l'acétate; le chlorhydrate, le nitrate et le sulfate sont cristallisables : le dernier de ces sels est extrêmement beau, et se sépare d'une liqueur acide en prismes incolores semblables aux cristaux d'acide oxalique.

Précipitée par l'ammoniaque d'une dissolution froide de chlorhydrate ou de sulfate, la benzoline se sépare en masses blanches, caillebottées, qui diminuent beaucoup de volume

(1) *Voir* le précédent Mémoire du même auteur.

par le lavage et la dessiccation. La poudre est singulièrement électrique lorsqu'elle a été parfaitement desséchée; si l'on frotte ses particules l'une contre l'autre avec une spatule, elles se repoussent mutuellement avec force, éparpillant la poudre sur le papier sur lequel elle est placée.

Elle n'est pas sensiblement soluble dans l'eau, mais elle se dissout avec beaucoup de facilité dans l'alcool et dans l'éther. La dissolution alcoolique, faite à chaud, laisse déposer, au bout de quelque temps, des cristaux brillants, transparents et incolores, qui paraissent être des prismes à base carrée avec des sommets diversement terminés; la dissolution alcoolique est fortement alcaline au papier réactif. A 212 degrés Fahreinheit (100 degrés centigrades) environ, la benzoline fond, et prend l'aspect vitreux par le refroidissement, sans aucune tendance apparente à la cristallisation. Chauffée dans une cornue, elle entre en ébullition et finit par se volatiliser entièrement, laissant un résidu de charbon insignifiant. Pendant la distillation, il se dégage de l'ammoniaque; un liquide oléagineux très-volatil, ayant l'odeur de la benzine, passe dans le récipient, et il se condense dans le col de la cornue une matière solide cristalline.

Cette dernière substance, qui paraît être le produit le plus abondant, a été l'objet d'un examen particulier; elle sera décrite bientôt sous le nom de *pyrobenzoline*. Les réactifs oxydants exercent sur la benzoline une action remarquable : si l'on chauffe dans une cornue de la benzoline avec un mélange de bichromate de potasse, d'acide sulfurique et d'eau, elle est attaquée très-énergiquement, et, par la distillation, il passe une grande quantité d'acide benzoïque avec la vapeur d'eau. La même transformation paraît s'effectuer avec l'acide nitrique, mais la réaction n'est pas aussi nettement définie ni aussi prompte. L'hydrobenzamide, dans des circonstances semblables, donne naissance aux mêmes produits, accompagnés toutefois, surtout au commencement de la distillation, d'une petite quantité d'huile

d'amandes amères. L'hydrate de potasse fondu ne paraît pas exercer d'action sur la benzoline, à moins que la température ne soit extrêmement élevée.

La composition de cette substance, et son isomérie avec l'hydrobenzamide, ont été mises hors de doute par les analyses suivantes :

	I.	II.	III.
Matière employée...........	4,018grs	4,03	4,57
Acide carbonique produit...	12,37	12,46	14,14
Eau........................	2,21	2,18	2,52

d'où, en centièmes :

Carbone....................	83,96	84,32	84,38
Hydrogène..................	6,11	6,01	6,12

On a suivi, pour le dosage de l'azote, la méthode de MM. Will et Varrentrapp :

	I.	II.
Matière employée..........	3,888grs	5,036
Sel de platine obtenu......	5,57	7,28
Azote pour 100............	9,07	9,12

L'hydrobenzamide contient, en faisant le calcul d'après la formule de M. Laurent :

Carbone..........	84,56
Hydrogène........	6,04
Azote............	9,40
	100,00

Chlorhydrate.

Le chlorhydrate de benzoline est médiocrement soluble, même dans l'eau bouillante. Il cristallise d'une dissolution chaude en petites aiguilles incolores extrêmement brillantes, qui s'effleurissent dans le vide. Il est extrêmement amer, propriété qui lui est commune avec les autres sels de benzoline. Le sel, privé de son eau de cristallisation, a fourni les résultats suivants :

	I.	II.
Matière employée...........	4,25grs	4,458
Acide carbonique produit....	11,71	12,30
Eau produite..............	2,21	2,32

d'où, en centièmes:

Carbone...................	75,14	75,25
Hydrogène................	5,77	5,78

Dosage du chlore et de l'azote.

Matière employée..........	4,16grs
Sel de platine obtenu......	5,17
Azote pour 100............	7,83

	I.	II.
Matière employée..........	5,838grs	4,218
Chlorure d'argent obtenu...	2,32	1,76
Chlore pour 100...........	9,64	10,12

La formule

$$C^{42} H^{14} Az^{2}, HCl$$

donne:

Carbone.............	75,33
Hydrogène...........	5,68
Azote................	8,41
Chlore...............	10,58
	100,00

Le sel cristallisé perd, par efflorescence, 2,4 pour 100 d'eau, correspondant, à très-peu près, à 1 équivalent.

Le chlorhydrate de benzoline forme, avec le bichlorure de platine, un sel double insoluble, d'une couleur jaune pâle, qui n'a pas encore été examiné.

Azotate.

L'azotate de benzoline est encore moins soluble que le sel précédent; les cristaux sont petits et n'ont qu'un médiocre éclat; ils n'éprouvent aucune altération dans le vide.

Ils ont donné à l'analyse les résultats suivants :

	I.	II.
Matière employée.........	4,112grs	4,27
Acide carbonique obtenu...	10,51	10,91
Eau.....................	1,97	2,03

d'où, en centièmes :

Carbone	69,71	69,68
Hydrogène	5,32	5,28

La formule

$$C^{42} H^{18} Az^2, Az O^5 + HO$$

donnerait :

Carbone	69,77
Hydrogène	5,26

L'acétate est un sel très-soluble ; il se réduit, en se desséchant par l'évaporation, en une masse gommeuse adhésive, et s'il cristallise, ce n'est probablement qu'avec la plus grande difficulté.

Pyrobenzoline.

J'ai donné ce nom, comme je l'ai déjà annoncé précédemment, au produit solide de la distillation sèche de la benzoline. On l'a pressé entre des feuilles de papier buvard pour le débarrasser, autant que possible, de matière huileuse, et on l'a dissous dans l'alcool bouillant pour le faire cristalliser, en profitant de sa grande solubilité dans ce menstrue. La pyrobenzoline n'est que médiocrement soluble dans l'alcool froid, et paraît tout à fait insoluble dans l'eau, dans les acides et les alcalis en dissolution étendue. Elle est insipide, et sa dissolution alcoolique n'a pas de réaction alcaline sensible.

A une température élevée, cette substance entre en fusion, et, en chauffant encore davantage, elle distille. Elle se sublime à une température inférieure à celle de son ébullition ; sa vapeur se condense alors en plumules cristallines, semblables à celles de l'acide benzoïque. La pyrobenzoline fondue donne, par le refroidissement, une masse de cristaux rayonnés, qui contraste beaucoup avec l'aspect vitro-résineux de la benzoline dans des circonstances semblables. Cette substance, prise d'abord pour un carbure d'hydrogène, contient de l'azote, d'après l'analyse qui en a été faite :

	I.	II.
Matière employée..........	4,295grs	3,46
Acide carbonique produit...	13,42	10,74
Eau....................	2,08	1,71

d'où, en centièmes :

Carbone..................	85,21	84,66
Hydrogène................	5,38	5,49

Dosage de l'azote.

Matière employée........	4,15grs
Sel de platine obtenu....	6,00
Azote pour 100..........	9,11

Ces nombres s'accordent avec la formule

$$C^{21} H^{8} Az,$$

qui donnerait :

Carbone...........	85,10
Hydrogène.........	5,40
Azote..............	9,50
	100,00

Cette substance, qui paraît être neutre, ainsi que le produit liquide son congénère, mérite un examen plus approfondi. L'espoir que j'avais exprimé, dans un Mémoire précédent, de produire de nouvelles bases organiques par la réaction de l'ammoniaque sur les huiles organiques, et en soumettant leurs amides à l'influence d'agents tels que la potasse, capables de métamorphoser le composé en lui donnant une forme ou des formes de combinaisons plus stables, a été ainsi en partie comblé.

M. Laurent a récemment annoncé la découverte d'une substance nouvelle, extraite de l'huile d'amandes amères, isomère avec l'hydrobenzamide, possédant des propriétés basiques, et correspondant, sous quelques rapports, à la benzoline; il a reconnu cependant qu'elle est volatile, sans décomposition, ce qui n'est certainement pas le cas de cette substance. Cette substance a reçu le nom d'*amarine* (1). La

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XIX, p. 353.

publication détaillée des expériences de M. Laurent nous éclairera sur l'identité ou la différence de nature de ces deux substances.

Remarques
SUR LE MEMOIRE DE M. N. SAVART SUR LES ONDES FIXES;

PAR M. A. SEEBECK.

(Extrait des *Annales de Poggendorff*, tome LXVII, page 145.)

Traduit par M. BERTIN.

Lorsque M. N. Savart publia dans les *Ann. de Chimie et de Physique*, 2e série, t. LXXI, p. 20, ses belles expériences sur les nœuds et les ventres qui peuvent être observés dans la réflexion d'un son, il ne put être douteux pour aucun de ses lecteurs, que ces phénomènes ne fussent produits par une interférence des ondes réfléchies avec les ondes directes, et M. Savart lui-même, à la fin de son Mémoire, se prononce dans ce sens, sans s'arrêter d'ailleurs à une comparaison plus attentive des faits avec les conséquences résultant de cette manière de voir. Comme une telle comparaison conduisait à des contradictions apparentes entre les résultats empiriques et les résultats théoriques, j'ai entrepris quelques recherches sur ce sujet, et j'ai montré que ces contradictions se lèvent quand on tient compte de l'influence de la courbure des ondes autour de la tête de l'observateur (*Annales de Poggendorff*, t. LIX, p. 177). Au contraire, M. Savart, dans une suite de ses recherches récemment publiées (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XIV, page 385), a tout à fait renoncé à croire qu'il y eût réellement interférence entre les ondes directes et les ondes réfléchies, et il a avancé

cette hypothèse, « que les ondes fixes ont leur cause immé-
» diate dans les vibrations de la paroi, et que les ondes pro-
» venant de la source sonore primitive n'interviennent
» dans le phénomène que pour communiquer à la paroi le
» mouvement vibratoire. »

Je ne m'arrêterai pas aux objections qu'on peut faire contre cette hypothèse dans le cas où le son est réfléchi par un mur ou par la surface du sol, mais je vais faire voir que les expériences sur lesquelles elle s'appuie sont tout à fait d'accord avec la théorie des interférences. M. Savart déduit, en effet, sa nouvelle explication de l'ensemble des trois faits suivants, observés par lui : 1° que la position des corps résonnant par rapport à la paroi est sans influence sur le lieu des surfaces nodales; 2° que les surfaces nodales affectent la forme de plans parallèles à la paroi dans toute l'étendue de celle-ci; 3° que le son réfléchi varie de timbre avec la nature du corps réfléchissant.

Quant au premier de ces trois phénomènes, il n'est besoin d'aucun développement pour faire voir qu'il est tout à fait d'accord avec la théorie des interférences, puisqu'il est produit par la différence de phase des ondes directes et des ondes réfléchies. Cette différence, par suite de la réflexion perpendiculaire, est égale au double de la distance de l'oreille à la paroi, et par conséquent tout à fait indépendante de la position du corps résonnant. Quant au second, il se déduit facilement de cette remarque, que les surfaces nodales, quoique hyperboliques, sont cependant, dans le voisinage de la paroi, si peu différentes d'un plan, que la différence n'est pas sensible pour l'observateur. Il est facile de s'en rendre compte par une construction graphique. Les ondes directes et les ondes réfléchies étant représentées par des circonférences, les lignes nodales le sont par des hyperboles qui ont leur foyer au corps résonnant et leur centre sur la paroi, comme on le déduirait aisément de la constance de la différence de phase. Enfin, pour ce qui

regarde le troisième fait, il est aussi tout à fait d'accord avec la théorie. J'ai montré, dans une théorie des sons concomitants (*Annales de Poggendorff*, t. LXII, p. 302), qu'un plateau, ébranlé sur une de ses faces par une série d'ondes, propageait par l'autre face des ondes qui avaient bien la même longueur, mais non la même forme que les premières, et l'on voit évidemment que la même chose doit avoir lieu pour les ondes réfléchies : il en résulte que les vibrations de la surface réfléchissante ne peuvent avoir aucune influence sur la position des nœuds et des ventres produits par l'interférence, mais bien sur le timbre du son perçu, comme cela se déduit des expériences de M. Savart. Il n'y a donc, dans ces expériences, aucune raison de rejeter la théorie des interférences; elles serviraient bien plutôt à l'appuyer.

L'explication des nœuds et des ventres qui, d'après M. Savart, doivent se trouver derrière la paroi réfléchissante, et dans une position tout à fait symétrique, paraît plus difficile. On pourrait penser qu'ici la courbure du rayon sonore autour de la paroi doit être prise en considération; mais, d'une part, l'imperfection de nos connaissances sur les lois de l'inflexion des rayons sonores, et, d'autre part, le défaut de données plus positives sur les conditions dans lesquelles l'expérience a été faite, nous défendent de nous prononcer sur ce sujet. En attendant, je ne vois dans cette observation aucune objection à faire contre la théorie des interférences, lorsque, dans tout le reste, elle se montre en si parfait accord avec les phénomènes. Dans le fait, on ne comprend pas comment M. Savart peut faire accorder avec son hypothèse actuelle les résultats de ses expériences sur les variations du son, lorsque le corps sonore est entre l'oreille et la paroi, de même que ses belles observations sur le son qui se sépare d'un bruit; tandis que ces phénomènes s'expliquent parfaitement bien par les interférences.

Dans les nœuds et les ventres, M. Savart ne voit pas tant une variation d'intensité que bien plutôt un passage des

vibrations longitudinales aux transversales, sans expliquer d'ailleurs comment cette transition s'effectue. Je n'en conteste pas la possibilité; mais je pense, 1° qu'un pareil état ne peut avoir sa cause que dans les interférences; 2° que les expériences rapportées par M. Savart ne suffisent pas pour démontrer l'existence du mouvement transversal; et 3° que l'on obtiendra des résultats plus simples, plus accessibles à la théorie, en rejetant l'intervention de ces vibrations transversales. En effet :

1°. Qu'on suppose les vibrations décomposées en une composante longitudinale et une transversale, le mouvement longitudinal changerade signe par la réflexion, mais non évidemment le mouvement transversal; d'où il résulte que, par suite de l'interférence des ondes directes, la vibration transversale aura son maximum, quand la vibration longitudinale atteindra un minimum, et réciproquement. Cela donne justement cette propriété des vibrations que M. Savart admet.

2°. Si M. Savart trouve que, dans le cas où le plan médian de la tête est perpendiculaire à la paroi, l'oreille entend le son le plus fort là où ma membrane circulaire, placée parallèlement à la paroi, avait indiqué un nœud, il n'en résulte pas qu'il y ait ici un mouvement transversal; cela s'explique bien plutôt par un mouvement tout longitudinal, en remarquant que les deux rayons sonores doivent se courber à angle droit pour entrer dans le canal auditif; car mes expériences ont montré que, dans ce cas, la direction des vibrations suit la même inflexion, et, par conséquent, les mouvements qui étaient opposés sur la membrane sont de même sens dans le conduit auditif : ils se renforcent justement, parce qu'ils se détruisaient sur la membrane. La réciproque doit avoir lieu : la membrane indique un maximum où l'oreille perçoit un minimum. On peut encore se représenter la chose d'une autre manière : quand la membrane est en repos, c'est qu'il y a dans l'air une surface no-

dale, et, par conséquent, une contraction et une dilatation. Si l'on place l'oreille perpendiculairement à cette surface nodale, la condensation et la dilatation pénètrent dans le canal auditif, et doivent, lorsqu'elles agissent sur le tympan, le mettre en vibration. Là, au contraire, où la membrane indique la vibration la plus grande, la condensation de l'air est nulle, ou du moins assujettie aux plus faibles changements; par conséquent, le tympan ne doit recevoir qu'un faible mouvement.

3°. Quand les rayons sonores doivent se courber, par exemple, pour tourner autour de la tête dont le plan médian est parallèle à la paroi, il n'y a encore à considérer que des vibrations purement longitudinales. Qu'on se représente, en effet, un rayon sonore courbé suivant une ligne à simple courbure; si les vibrations transversales sont normales au plan de cette ligne, la direction de ces vibrations ne sera pas changée par la courbure du rayon. Il n'en serait pas de même si les vibrations, toujours transversales, étaient dans le plan même de la courbe. Les phénomènes d'interférences seront donc tout différents dans ces deux cas. Si, par exemple, la courbure va jusqu'à deux angles droits, les nœuds et les ventres doivent, dans le premier cas, se trouver placés comme pour les vibrations longitudinales, parce qu'ils sont produits par un double changement de signe (dû à la réflexion et à la courbure), changement qui n'a pas lieu pour les vibrations transversales. La même chose n'arrive plus dans le second mode de courbure du rayon. Maintenant, dans le détour que fait le rayon autour de la tête de l'observateur, du moment qu'il y a des vibrations transversales, les deux modes de courbure doivent se rencontrer, tantôt l'une, tantôt l'autre; d'où il résulte que les phénomènes seront très-compliqués et s'éloigneront d'autant plus de la théorie.

C'est pour ce motif que les expériences que M. Savart a faites avec des timbres me paraissent avoir plus d'impor-

tance lorsque le timbre était horizontal, avec le tube renforçant par-derrière, que lorsque la circonférence était verticale; car, dans le premier cas, les vibrations horizontales se propagent avec plus de force que les vibrations longitudinales; dans le second, les vibrations sont transversales à l'origine, et peuvent, dans leur propagation, conserver jusqu'à un certain point cette direction transversale. Aussi, dans le dernier cas, le danger d'une interférence perturbatrice des ondes provenant des quatre côtés du timbre est-il plus grand que dans le premier. On voit clairement par là pourquoi M. Savart, dans ces deux modes d'expériences, a trouvé une différence dans la position des nœuds et des ventres. Lorsque, des expériences faites de la dernière manière il tire cette conclusion, que le plan médian de la tête, quand il est parallèle à la paroi, doit en être distant, dans les nœuds, juste de 1, 2, 3, etc., longueurs d'ondes, on peut, d'après les remarques précédentes, concevoir des doutes sur la généralité de cette affirmation, d'autant plus que les résultats obtenus dans la première position du timbre s'accordent tout à fait avec mes calculs. M. Savart rapporte, en effet, les observations qu'il a faites avec cinq timbres horizontaux, dans le but de montrer que la différence entre la première et la deuxième onde est d'autant moindre que le diamètre du timbre est plus petit. Ce fait est entièrement dans l'ordre, seulement il provient de ce que les petits timbres donnent des sons plus élevés. J'ai calculé, d'après le tableau donné par M. Savart, le seul malheureusement qu'il y ait dans son dernier Mémoire, les différences de phase telles que ma formule de correction les donne (*Annales de Poggendorff*, t. LIX, p. 198); elles sont réunies dans le tableau suivant :

NUMÉROS.	DIAMÈTRES des timbres.	DIFFÉRENCE DE MARCHE POUR LE	
		premier nœud.	second nœud.
	m	m	m
1	0,40	0,309	0,931 = 3 × 0,310
2	0,19	0,306	0,802 = 3 × 0,267
3	0,18	0,198	0,585 = 3 × 0,195
4	0,14	0,190	0,562 = 3 × 0,187
5	0,13	0,190	0,552 = 3 × 0,184

L'accord est parfait pour les n°s 1, 3, 4 et 5, et pour le n° 2 elle atteint à peine la limite des erreurs d'observations.

On obtiendrait d'autres rapports si l'on observait avec les deux oreilles à la fois, l'une étant tournée vers la paroi et l'autre du côté opposé. La discussion approfondie de ce cas exige quelques préliminaires de physiologie sur lesquels je compte revenir incessamment. Cependant je puis dire ici provisoirement, que cette manière d'opérer n'est pas également convenable pour tous les sons, et que la loi posée par M. Savart, sur la distance du plan médian à la paroi, n'est pas valable pour toutes les hauteurs du son, mais seulement entre certaines limites.

De ce que cet observateur n'a remarqué aucune différence dans le phénomène, lorsqu'il s'entourait le devant de la tête d'un bourrelet, on ne peut rien conclure contre l'admissibilité de mes calculs, puisque ces bourrelets pourraient avoir plusieurs pouces d'épaisseur, sans produire pour cela une différence qui dépassât la limite des erreurs d'observation. Mais, pour ne pas laisser passer sous silence une circonstance qui pourrait infirmer mon explication des expériences de M. Savart, et en particulier ma formule de correction, je ne dissimulerai pas que l'observation dans laquelle on trouve un nœud pour la même position de la tête, soit qu'on bouche l'oreille tournée vers la paroi, soit lorsqu'on bouche l'oreille opposée, n'est pas dans un accord

suffisant avec mes calculs d'interférences. Si cette observation se vérifiait pour toutes les longueurs d'ondes, il faudrait apporter une modification à mon explication de l'anomalie que présente la première onde ou la première demi-onde. Cependant cette modification n'atteindrait que la partie physiologique du phénomène, et nullement la nature objective des ondes fixes, puisque mes expériences que j'avais, précisément à cause de cela, débarrassées de toute influence physiologique, ne m'ont laissé aucun doute sur le caractère de ces ondes fixes. Au reste je ne puis, en aucune manière, me prononcer maintenant sur la nécessité de cette modification, car on n'a encore mis en avant aucun résultat d'expériences spéciales sur cet objet, tandis que tous les nombres réellement donnés par M. Savart s'accordent si parfaitement avec ma théorie.

Sous ce rapport, outre les cas que nous venons de considérer, la comparaison suivante mérite d'être rapportée. Dans ses premières expériences, M. Savart distinguait au milieu d'un bruit le son ut_2, lorsque la distance du labyrinthe à la paroi était de 55 pouces. Cela donne, d'après mon calcul, $52^{po},3$ pour la première onde, et seulement $37^{po},9$ d'après cette estimation de M. Savart, que le plan médian doit se trouver dans le second ventre à une onde et demie de la paroi. On peut estimer l'onde du son ut_2 à environ 49 pouces à cette température, ce qui diffère de mon résultat à peine d'un demi-ton, tandis que la différence est de près d'une quarte avec la valeur calculée d'après M. Savart.

Au reste, je désire ardemment examiner jusqu'à quel point ma théorie est d'accord avec l'expérience, et la rectifier dans le cas où cet accord n'aurait pas lieu; c'est pourquoi j'exprimerai, en finissant, le vœu que M. Savart puisse faire connaître un tableau complet de ses résultats d'expériences, et des conditions dans lesquelles ils ont été obtenus. Ce vœu paraîtra d'autant plus légitime, qu'on doit avoir la plus grande confiance dans l'habileté de cet observateur.

INSTRUCTION SUR L'EMPLOI DE L'ANÉMOMÈTRE PAR RÉFLEXION;

PAR M. G. AIMÉ.

L'anémomètre par réflexion consiste en un miroir et une boussole fixés ensemble au moyen d'une planchette. La boussole est divisée en 360 degrés. L'écart entre deux divisions successives du cercle gradué est de 2 degrés. L'origine des divisions correspond à l'extrémité d'une flèche gravée sur la boussole, et portant la lettre N (nord).

La glace est divisée en plusieurs bandes au moyen de lignes parallèles tracées au diamant (1). Un certain nombre de ces lignes sont parallèles à la direction de la flèche de l'intérieur de la boussole; les autres sont perpendiculaires aux premières.

Pour employer l'anémomètre à mesurer la direction des nuages, on commence par rendre libre l'aiguille aimantée en poussant un petit ressort adapté au pourtour de la boussole. On place ensuite l'appareil sur un plan horizontal, au milieu d'une cour ou dans un lieu où l'on peut apercevoir une grande partie du ciel.

On observe sur la glace le mouvement des nuages, en ayant soin de tourner le miroir de telle façon que les nuages marchent dans la direction des divisions tracées sur la glace et qui sont parallèles à la flèche de la boussole. Il faut, de plus, que la planchette soit disposée de façon que *les nuages viennent au-devant de la pointe de la flèche, c'est-à-dire que cette pointe soit tournée vers les nuages qui arrivent au zénith.* Dès que l'on s'est assuré que les nuages se meu-

(1) Les traits au diamant se trouvent au-dessous de la glace et immédiatement en contact avec la feuille d'étamage. C'est M. Deleuil, opticien, qui m'a procuré toutes les glaces ainsi disposées qui ont été nécessaires à mes expériences. C'est lui qui m'a fourni aussi tous les appareils dont je me suis servi dans mes travaux sous-marins.

vent bien parallèlement aux lignes tracées sur le miroir, on lit la division correspondante au pôle nord (pointe bleue) de l'aiguille, et l'on obtient ainsi l'angle que fait la direction du vent avec le méridien magnétique. Connaissant ensuite la déclinaison magnétique du lieu, on en conclut la direction du vent par rapport au méridien astronomique. Il n'est pas nécessaire de faire cette correction dans les observations particulières, il suffit d'en tenir compte dans les moyennes générales.

Afin d'apprécier convenablement le mouvement des nuages par rapport aux lignes tracées sur la glace, il est nécessaire que l'œil de l'observateur soit fixe. Pour atteindre ce but, on a muni l'appareil de petits supports en cuivre qui se terminent en pointe, et qui peuvent se raccourcir ou s'allonger à volonté. On place un de ces supports à côté du miroir et l'on regarde son image dans la glace, en se plaçant de telle façon que l'image de la pointe corresponde à l'intersection de deux des lignes tracées sur le miroir. On regarde alternativement le nuage et l'image de la pointe. Si le nuage ne marche pas parallèlement aux lignes, on donne à la glace un petit mouvement de rotation dans le sens convenable, puis l'on remet le support dans une nouvelle position qui permette de voir encore l'image de sa pointe coïncider avec l'intersection de deux lignes tracées sur le miroir.

Pour se familiariser avec l'emploi de cet instrument, il faudra commencer à s'en servir quand on apercevra dans le ciel des nuages bien définis, isolés les uns des autres, et ayant une grande vitesse. Les mesures obtenues seront d'autant plus exactes que l'on se servira de nuages plus voisins du zénith.

L'anémomètre que nous venons de décrire peut, dans certains cas, servir à déterminer la hauteur des nuages ou leur vitesse.

Supposons, en effet, que l'on place le petit support à

pointe à côté de la glace, et qu'on le dispose de façon à voir dans la glace l'image de la pointe et celle d'un petit nuage superposées.

Si le nuage marche, il faudra se déplacer pour que les deux images coïncident toujours.

Le chemin parcouru sur la glace par ces deux images sera au chemin parcouru en réalité par le nuage, comme la hauteur de la pointe au-dessus de la glace est à la hauteur des nuages au-dessus de l'observateur; ce que nous écrivons ainsi :

$$c : C :: h : H.$$

L'espace parcouru par le nuage, divisé par le temps t écoulé, représente la vitesse.

Les lignes tracées au diamant sur la glace sont écartées les unes des autres d'une quantité connue. Avec une montre à secondes, il sera facile de déterminer le temps employé par les images superposées pour aller d'une ligne à l'autre.

On pourra donc facilement calculer le premier terme $\frac{c}{t}$: la valeur de h est déterminée d'avance; il reste donc deux termes inconnus, C et H.

Si l'on sait la hauteur des nuages, on en conclura leur vitesse.

Si l'on connaît la vitesse des nuages, on en déduira leur hauteur.

Dans des localités où il existe des montagnes dont on a apprécié exactement la hauteur, on calculera l'élévation des nuages en examinant en quel endroit ils rencontrent les montagnes, et l'on en déduira ainsi leur vitesse.

Si l'on se trouve placé sur une hauteur dominant une grande plaine, il sera possible de mesurer la vitesse des nuages par la marche de leurs ombres. La hauteur, dans ce cas, sera encore connue.

Pour opérer commodément, il faut avoir à la main une carte détaillée de l'endroit où l'on se trouve; avec un

crayon on pointe le passage de l'ombre, et on note l'heure: on suit cette ombre pendant quelque temps, et l'on pointe de nouveau en notant encore l'heure. Par ce procédé on connaît exactement le chemin parcouru par le nuage.

Note sur l'arséniate d'ammoniaque et de magnésie bibasique, correspondant au phosphate bibasique des mêmes bases, et sur ses applications;

PAR M. LEVOL.

Malgré les analogies si frappantes que présentent les combinaisons arsenicales avec celles du phosphore, il ne paraît pas que l'on ait cherché jusqu'ici s'il existait une combinaison arsenicale correspondante au plus important des phosphates doubles ammoniaco-magnésiques, je veux dire celui que l'on rencontre parmi certains produits de l'organisme animal, et dont on tire si souvent parti dans l'analyse chimique, où les moyens de dosage de l'acide phosphorique sont si limités, pour effectuer ce dosage en mettant à profit son insolubilité.

En considérant que la même pénurie existe jusqu'à un certain point relativement à l'acide arsénique, il m'a paru intéressant de chercher s'il serait possible de produire avec cet acide l'analogue du phosphate dont je viens de parler, pour l'appliquer au dosage de l'acide arsénique dans le cas où il partagerait son insolubilité; or l'expérience démontre qu'un pareil sel existe effectivement: il ressemble en tout point au phosphate bibasique des mêmes bases, et sa formule est semblable à celle que M. Berzelius assigne à ce phosphate (1), soit:

$$2\,AzH^3, 2\,MgO, AsO^5 + 10\,HO.$$

(1) L'eau contient cinq fois autant d'oxygène que la magnésie, et l'ammoniaque suffit exactement pour former un sel neutre avec l'acide phosphorique du sel magnésique. (BERZELIUS, *Traité de Chimie*.)

On obtient ce sel comme le phosphate correspondant, c'est-à-dire en versant un sel double ammoniaco-magnésique soluble dans la liqueur contenant l'acide arsénique, après l'avoir préalablement rendue ammoniacale; comme le phosphate, il ne paraît pas d'abord, mais seulement après quelques instants, à moins que l'on n'agite; il se dépose de même sous forme de très-petits cristaux sur les parois des vases; son insolubilité peut aussi être comparée à celle du phosphate : 1 partie d'acide arsénique, étendue de 56818 parties d'eau ammoniacalisée, a été rendue sensible peu de temps après l'addition de quelques gouttes d'une solution concentrée de sulfate ammoniaco-magnésique; enfin, je pense qu'il serait difficile de citer deux sels plus exactement comparables l'un à l'autre que le phosphate et l'arséniate dont il s'agit.

J'ai fait l'application du nouveau sel dans un cas fort épineux d'analyse chimique, celui de la séparation quantitative des acides arsénique et arsénieux, ce dernier acide ne formant point de sel double insoluble avec l'ammoniaque et la magnésie. Lorsqu'on a recueilli le précipité, on le dessèche, puis on le calcine jusqu'au rouge, en le tenant alors avec soin à l'abri de toute influence réductive; il reste $2MgO, AsO^5 = 55{,}74$ pour 100 du poids du nouveau sel, lesquels représentent 41,02 d'acide arsénique.

D'un autre côté, il me paraît très-vraisemblable qu'en raison de l'extrême insolubilité du composé qu'ils sont susceptibles de produire avec l'acide arsénique, les sels doubles ammoniaco-magnésiques pourraient être fort utiles pour combattre l'empoisonnement par cet acide, et il serait fort à désirer que les médecins voulussent bien tenter l'emploi, soit du sulfate, du nitrate ou du chlorure ammoniaco-magnésique comme antidote de l'acide arsénique.

MÉMOIRE SUR LES ACIDES CONTENUS DANS LE TABAC;

PAR M. E. GOUPIL,
Ancien élève de l'École Polytechnique.

Lorsqu'on traite du tabac en feuilles par l'eau, on obtient une dissolution qui, généralement, a une réaction acide au papier de tournesol. L'acidité de la liqueur est due, suivant Vauquelin et d'autres chimistes, à un malate acide de chaux. Les expériences de Vauquelin ayant été faites à une époque à laquelle les propriétés de l'acide malique n'étaient pas encore bien connues, et leur exactitude ayant d'ailleurs été contestée dans ces derniers temps, j'ai pensé qu'il serait intéressant de les répéter, et de retirer du tabac l'acide malique à l'état de pureté. Ces recherches m'ont conduit à reconnaître l'exactitude de l'assertion de Vauquelin, et à constater dans le tabac la présence d'un second acide organique, qui est l'acide citrique. Dans ce travail, j'ai constamment été guidé par les bons conseils de M. Fremy, notre professeur.

Je dirai d'abord comment on peut retirer l'acide malique du tabac.

On épuise les feuilles par l'eau bouillante, et l'on filtre à travers un linge; dans les liqueurs refroidies, on verse de l'acétate de plomb neutre en excès : il se forme un abondant précipité jaune, qu'on peut laver par décantation, ou plutôt sur un filtre de flanelle. On lave à froid, car le précipité est assez soluble à chaud; on met le précipité ainsi lavé dans une capsule, en élevant la température vers 60 degrés, et l'on ajoute peu à peu de l'acide sulfurique étendu d'eau, jusqu'à ce que tout le plomb soit précipité ou filtré; on obtient une liqueur acide fortement colorée, que l'on divise en deux parties égales; on sature l'une d'elles par de l'ammoniaque, on réunit les liqueurs, et l'on fait évaporer jusqu'à consistance sirupeuse; au bout de vingt-quatre

heures, elles laissent déposer des cristaux que l'on peut purifier par le noir animal et plusieurs cristallisations. Le sel ainsi obtenu est du bimalate d'ammoniaque, qui cristallise en prismes rhomboïdaux droits; l'angle du biseau est de 112°30'; les angles des faces sont de 137 degrés et 159°25'.

On peut, au lieu d'employer l'ammoniaque, saturer avec du carbonate de potasse ou de soude, l'une des parties de la liqueur que l'on obtient après la précipitation par l'acide sulfurique; il se produit alors des bimalates de potasse et de soude, que l'on retire de la même manière à l'état de pureté.

Pour avoir l'acide malique pur, dans la dissolution de l'un des bimalates obtenus à l'état de pureté, on verse un excès d'acétate de plomb neutre; il se forme un précipité blanc caillebotté qui se transforme, au bout de quelques heures, en aiguilles cristallines groupées en houppe; on lave facilement à froid par décantation, puis on fait passer un courant d'hydrogène sulfuré en excès, qui précipite le plomb à l'état de sulfure et laisse l'acide en liberté; on chasse l'hydrogène sulfuré par une ébullition de quelques instants, on concentre ensuite dans le vide ou sur la chaux. L'acide reste incolore et se prend en masse, offrant des mamelons cristallins.

Les propriétés de l'acide ainsi obtenu sont les suivantes : il précipite en blanc les sels de mercure, d'argent et de plomb; ce dernier précipité offre le caractère remarquable de se transformer, au bout de quelques heures, en belles aiguilles cristallines. Je ferai observer que ce dernier phénomène ne se produit que lorsqu'on emploie du malate acide. Si l'on prend du malate neutre d'ammoniaque, et qu'on le précipite par l'acétate de plomb neutre, on a un précipité caillebotté, mais qui ne cristallise point, même au bout de plusieurs semaines : si après ce temps on ajoute quelques gouttes d'acide acétique ou nitrique, la cristallisation a lieu après quelques heures; la liqueur acide paraît

agir comme dissolvant qui facilite la cristallisation. Le malate de plomb cristallisé perd, à 140 degrés, les 3 équivalents d'eau qu'il renferme. Le même acide forme, avec la potasse, la soude et l'ammoniaque, des sels acides facilement cristallisables; c'est sur cette propriété, comme on a vu, que repose sa préparation à l'état de pureté. Soumis à la distillation blanche, il donne, à la température de 176 degrés, marquée par le thermomètre plongé dans le bain d'huile, naissance à deux acides et à un faible résidu charbonneux. Le premier de ces deux acides passe à la distillation et cristallise dans le col de la cornue et dans le ballon; le second reste dans la cornue sous forme d'une poudre blanche comme de la neige. L'acide qui cristallise dans le ballon est très-soluble dans l'eau et l'alcool; il a une saveur d'abord acide, puis nauséabonde et très-désagréable; il précipite par les sels d'argent, avec l'acétate de plomb. Si les liqueurs sont étendues, on a un précipité blanc qui, à la longue, se transforme en lamelles d'un aspect micacé; si les liqueurs sont concentrées, il se forme un précipité gélatineux qui se prend en masse comme de l'empois; avec la baryte, un précipité blanc qui se change en peu d'instants en poudre cristalline, et qui disparaît dans un excès d'eau pure et d'eau de baryte; avec l'eau de chaux, on n'a point de précipité. L'acide qui reste dans la cornue ne se volatilise qu'au delà de 200 degrés; il est peu soluble dans l'eau et l'alcool; il précipite par le plomb, mais le précipité ne cristallise point; avec les sels d'argent, il donne un précipité tellement insoluble, que ce réactif est aussi sensible que les chlorures pour reconnaître l'argent; un peu d'acide nitrique le dissout facilement.

Si l'on compare ces propriétés à celles que M. Pelouze a décrites dans un beau Mémoire sur la distillation de l'acide malique, on voit que l'acide retiré du tabac n'est autre que l'acide malique.

J'ai déterminé la capacité de saturation de l'acide, en brûlant le sel de plomb cristallisé et desséché à 140 degrés.

J'ai trouvé, pour moyenne de trois expériences, 7,23; on sait que la capacité de saturation de l'acide malique est 7,25 = $C^4H^2O^4$. J'ai d'ailleurs reconnu, par l'analyse, que la composition de l'acide contenu dans le sel de plomb est bien $C^4H^2O^4$.

Le tabac contient une assez grande quantité d'acide malique : on peut facilement retirer d'un kilogramme de tabac séché à 100 degrés, de 35 à 40 grammes de bimalate d'ammoniaque pur; ce qui permettrait de faire servir le tabac à la préparation de l'acide malique et des malates, qui sont si rares dans les laboratoires de chimie, et dont le prix est si élevé chez les fabricants de produits chimiques.

Lorsqu'au lieu de traiter par l'acide sulfurique le précipité qu'on obtient avec le jus de tabac et l'acétate de plomb, on le traite par l'hydrogène sulfuré, on a une liqueur très-acide et assez fortement colorée, dans laquelle Vauquelin avait constaté la présence de l'acide malique, et qui contient en outre de l'acide phosphorique, de l'acide citrique et une assez grande quantité de chaux, quel que soit le soin avec lequel on a lavé le précipité du plomb. Cette liqueur, abandonnée à elle-même pendant longtemps, ne présente rien de remarquable; mais si l'on précipite une seconde et une troisième fois par le plomb et l'hydrogène sulfuré, le mélange des acides se décolore beaucoup, mais contient toujours de la chaux, malgré les nombreux lavages du sel de plomb; ce qui me fait croire que la chaux est entraînée à l'état de combinaison; en le concentrant convenablement et l'abandonnant à lui-même pendant plusieurs semaines, il laisse déposer de petits cristaux grenus et durs; on décante, on dissout dans l'eau ou l'alcool, et l'on fait cristalliser une seconde fois. Les cristaux contiennent encore de la chaux; pour les purifier, on les dessèche bien entre des doubles de papier, et on les fait dissoudre dans l'alcool absolu, dans lequel ils sont assez solubles; la dissolution offre un louche qui est dû à l'insolubilité des sels de chaux; on filtre et l'on fait cristalliser une dernière fois.

Les cristaux ainsi obtenus ont l'aspect des cristaux d'acide citrique ; lorsqu'on les distille, soit en vase clos, soit à l'air libre, ils donnent naissance à de l'acide aconitique, que l'on reconnaît facilement par la propriété suivante : on sature à froid, par du carbonate de chaux, l'acide qui reste au fond du vase distillatoire, et l'on filtre ; la liqueur filtrée se trouble par l'ébullition, et reprend sa limpidité par le refroidissement ; ils ne précipitent pas l'eau de chaux : d'ailleurs, une analyse que je dois à l'obligeance de M. Fremy a confirmé ces expériences. Le citrate de plomb neutre contient, d'après la théorie :

PHO..........	67,00
C..........	14,40
H..........	1,00
O..........	17,60
	100,00

Le sel de plomb, analysé par M. Fremy, a donné 105 milligrammes d'oxyde de plomb pour 155 milligrammes de sel ; ce qui fait 67,70 pour 100 d'oxyde de plomb. Le sel n'était donc pas le citrate de plomb neutre : il s'était formé, pendant le lavage, un peu de sel basique.

L'analyse a donné, pour 500 milligrammes de matière : $CO^2 = 242$ et $HO = 55$; d'où

$$C = 65,9 \quad \text{et} \quad H = 6,1;$$

et, par suite,

$$O = 89,5.$$

On déduit de là

PHO..........	67,70
C..........	13,18
H..........	1,22
O.........	17,90
	100,00

Pour obtenir cet acide, il vaut mieux prendre les eaux mères dont on a retiré la plus grande quantité de bimalate d'ammoniaque ; on les précipite par le plomb, on réduit ensuite par l'hydrogène sulfuré, et la préparation s'achève comme je l'ai indiqué plus haut.

L'acide citrique se trouve en faible quantité dans le ta-

bac. La présence des acides phosphorique et malique, acides déliquescents, et d'une petite quantité de chaux dans les eaux mères, rend les cristallisations, et par suite cette préparation, très-longues. Malgré les nombreuses expériences que j'ai faites sur le tabac de Virginie et du Lot, je n'ai pu en retirer que deux acides organiques précipitant par le plomb, et je suis convaincu que ce sont les seuls qui existent dans ces tabacs.

Les malates et les citrates qui se trouvent dans le tabac jouent certainement un grand rôle dans la fabrication du tabac à priser. Par la fermentation, ils sont décomposés au moins en partie, et donnent naissance à du carbonate de chaux et à de l'acide carbonique, qui se dégage à l'état de carbonate d'ammoniaque et, probablement, de carbonate de nicotine. La présence de ces deux carbonates se reconnaît facilement à l'odeur répandue dans les salles où le tabac fermente. Le carbonate de chaux est facile à constater, car on sait que la poudre à priser fait effervescence avec les acides. D'ailleurs M. Buisson a fait une expérience qui vient confirmer cette décomposition des malates; si l'on fait fermenter une dissolution aqueuse de tabac, il se dégage une grande quantité d'acide carbonique, et il se forme au fond du vase un dépôt qui contient du carbonate de chaux.

J'ai opéré, dans mes expériences, sur deux tabacs de nature et de séves très-différentes: l'un était le virginie, l'autre le tabac français du Lot. Le temps ne m'a pas permis de compléter cette question des acides en répétant les mêmes expériences, non-seulement sur tous les tabacs en feuilles qui se trouvent à la manufacture de Paris, mais encore sur le tabac dans les différentes phases de la fabrication; mais j'espère que cette question sera reprise par un de mes camarades, et qu'il donnera des résultats qui pourront guider dans la fabrication du tabac à priser, et mettre en évidence quelques-uns des phénomènes chimiques qui se passent pendant cette opération.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — JUIN 1840.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN.			MIDI.			3 HEURES DU SOIR.			9 HEURES DU SOIR.			THERMOMÈTR.		ÉTAT DU CIEL A MIDI.	VENTS à MIDI.
	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Maxim.	Minim		
1	759,50	+23,1		759,28	+25,2		758,92	+26,2		759,63	+22,4		+27,7	+10,3	Très-beau............	E. N. E.
2	760,57	+22,9		760,35	+25,6		759,65	+26,8		760,11	+23,0		+28,5	+13,7	Très-beau............	E. N. E.
3	760,80	+24,7		760,27	+26,9		759,36	+28,2		759,32	+23,0		+28,5	+13,1	Très-beau............	E.
4	759,26	+24,1		758,76	+26,4		757,84	+27,4		758,25	+13,3		+28,3	+15,4	Très-beau............	E. assez fort
5	758,76	+24,6		758,33	+26,5		757,87	+27,7		758,35	+23,6		+28,3	+15,2	Très-beau............	E.
6	758,47	+26,6		758,00	+27,0		757,20	+27,8		757,34	+23,7		+29,8	+16,0	Nuages..............	E. N. E.
7	756,52	+27,1		755,70	+27,9		754,94	+29,2		754,90	+23,5		+30,5	+16,0	Beau, légers nuages,.	S.
8	755,43	+19,0		754,87	+21,8		753,91	+21,4		753,81	+19,1		+27,5	+17,2	Nuageux	O. N. O.
9	752,79	+20,8		752,25	+19,1		752,29	+21,8		754,67	+17,0		+21,4	+14,9	Qq. goutt. de pl., tonn.	S. S. E.
10	758,28	+19,6		758,38	+21,2		758,03	+22,7		759,90	+19,2		+23,0	+12,7	Couvert.	S. O.
11	762,58	+19,7		762,74	+22,3		762,34	+23,5		763,11	+20,5		+24,0	+17,1	Très-nuageux..	O. N. O.
12	763,14	+22,3		762,26	+24,4		761,32	+25,6		760,73	+21,5		+26,1	+15,0	Ciel voilé	N.
13	759,24	+25,5		758,21	+27,3		757,31	+28,6		757,04	+24,4		+30,0	+16,0	Beau.	E.
14	756,96	+27,1		756,73	+28,5		755,86	+28,8		756,60	+23,2		+30,0	+18,7	Beau, quelq. nuages..	E. S. E.
15	758,16	+23,5		758,17	+27,0		758,00	+27,3		760,19	+22,3		+28,7	+17,3	Nuageux..............	N.
16	762,27	+23,6		762,31	+25,9		761,53	+27,1		762,54	+23,0		+28,0	+16,8	Beau	E. N. E.
17	762,53	+24,4		761,93	+26,8		760,66	+28,2		760,98	+24,3		+29,0	+17,5	Beau.................	N. E.
18	760,14	+25,8		759,36	+27,9		758,18	+28,5		758,13	+24,4		+29,9	+18,0	Beau, quelq. nuages..	E. N. E.
19	758,15	+26,7		757,56	+29,1		756,82	+29,7		757,68	+25,6		+31,5	+19,0	Beau, quelq. nuages..	N. E.
20	758,33	+25,9		758,01	+28,3		756,93	+29,2		758,23	+24,6		+30,1	+19,4	Beau, quelq. nuages..	N.
21	758,60	+23,3		757,92	+27,8		756,38	+29,7		756,34	+23,8		+31,4	+17,9	Beau, quelq. nuages..	N. E.
22	754,07	+27,9		752,72	+31,6		750,69	+31,3		750,73	+20,7		+33,1	+18,0	Nuages...............	E.
23	750,40	+19,4		751,21	+21,0		751,98	+20,5		753,23	+16,2		+21,6	+17,3	Quelques éclaircies..	O. N. O.
24	746,63	+14,4		744,19	+15,4		741,12	+17,3		743,60	+14,6		+17,7	+12,7	Pluie................	S. S. O
25	749,23	+17,6		749,41	+18,6		749,41	+19,3		750,69	+13,6		+19,9	+12,2	Couvert..............	S. O.
26	752,12	+19,6		751,46	+19,3		750,33	+21,6		748,98	+17,4		+22,1	+10,3	Couvert..............	S. S. O.
27	749,22	+18,8		750,28	+21,2		751,26	+22,9		754,08	+16,8		+23,1	+14,4	Couvert..............	O. N. O.
28	756,62	+20,6		756,32	+21,5		755,51	+23,6		755,31	+18,0		+23,7	+12,5	Quelques éclaircies..	S. O.
29	754,84	+23,0		754,28	+25,8		753,63	+25,5		754,78	+16,6		+27,9	+13,2	Couvert..............	S.
30	757,53	+18,4		757,33	+22,4		757 17	+22,1		759,11	+18,4		+23,1	+15,2	Éclaircies...........	O. N. O.
1	758,04	+23,3		757,62	+24,8		757,00	+25,9		757,58	+20,8		+26,4	+14,5	... Moy. du 1er au 10	Pluie en cent.
2	760,1 5	+24,4		759,73	+26,7		758,89	+27,7		759,52	+23,4		+28,7	+17,5	... Moy. du 11 au 20	Cour. 3,850
3	752,9 3	+20,3		752,51	+22,5		751,75	+23,4		752,68	+17,6		+24,4	+14,4	... Moy. du 21 au 30	Terr. 3,310
	757,04	+22,7		756,62	+24,7		755,88	+23,7		756,59	+20,6		+26,5	+15,4	... Moyenne du mois......	+ 21°,0

TABLE DES MATIÈRES,

Tome XVII. (3me Série.)

Pages.

Recherches sur la composition des gaz que l'eau de mer tient en dissolution dans les différents moments de la journée; par M. B. Lewy 5

Recherches sur l'eau régale et sur un produit particulier auquel elle doit ses principales propriétés; par M. A. Baudrimont 24

Histoire de l'artillerie. — Du feu grégeois et des feux de guerre et des origines de la poudre à canon, d'après des textes nouveaux; par MM. Reinaud et Favé (Compte-rendu par M. Ch. Daremberg) 42

Nouvelles recherches sur l'acide hippurique, l'acide benzoïque et le sucre de gélatine; par M. Dessaignes 50

Sur un nouveau mode de séparation du cobalt d'avec le manganèse; par M. Ch. Barreswil 53

Mémoire sur de nouvelles combinaisons de l'acide borique avec les éthers, et sur l'éther sulfureux; par MM. Ebelmen et Bouquet 54

Observations météorologiques du mois de mars 1846 74

Expériences sur les effets de l'électricité statique; par M. Ch.-G. Knochenhauer 77

Recherches sur le développement successif de la matière végétale dans la culture du froment; par M. Boussingault. 162

Mémoire sur les couleurs développées dans des fluides homo-

Pages.

gènes par la lumière polarisée; par AUGUSTIN FRESNEL... 172
Mémoire sur le magnétisme terrestre; par M. G. AIMÉ.... 199
Remarques sur la théorie de M. Leplay, ingénieur des Mines, touchant la réduction des oxydes métalliques par le charbon; par M. GAY-LUSSAC........................ 221
Essai de l'argent contenant du mercure; par M. GAY-LUSSAC. 232
Sur une macle remarquable d'argent natif de Kongsberg; par M. G. ROSE.. 235
Observations météorologiques du mois d'avril 1846....... 241
Recherches sur la conductibilité électrique des corps solides et liquides; par M. EDMOND BECQUEREL................ 262
Recherches expérimentales sur la faculté nutritive des fourrages avant et après le fanage; par M. BOUSSINGAULT... 291
Mémoire sur l'éther chloroformique de l'alcool et sur les produits qui en dérivent; par M. S. CLOEZ............ 297
Mémoire sur la réflexion de la lumière; par AUGUSTIN FRESNEL. 316
De l'action de l'iode sur le xanthate de potasse; par M. WILLIAM-CHRISTIAN ZEISE.............................. 338
Examen des matières produites par un ulcère de l'orme, suivi d'observations sur les mucilages d'orme, de tilleul et de graine de lin; par M. H. BRACONNOT.............. 347
Observations météorologiques du mois de mai 1846....... 358
Recherches expérimentales sur l'électricité; par M. FARADAY. 359
Second Mémoire sur le dosage du cuivre; par M. J. PELOUZE. 393
Recherches sur la solubilité de l'alumine dans l'eau ammoniacale; par MM. J. MALAGUTI et J. DUROCHER........ 421
Expériences concernant l'action du magnétisme sur tous les corps; par M. EDMOND BECQUEREL.................. 437
Recherches sur le sang; par M. DUMAS................. 452
Sur la formation artificielle d'un nouvel alcali végétal; par M. G. FOWNES. (Traduit par M. *Is. Pierre*.)........... 460
Sur de nouvelles séries de combinaisons de l'acide tungstique avec les alcalis; par M. MARGUERITTE.............. 475